Niveau(x) d'enseignement: 0 Numéro EDUQ : 8470800
Centre d'intérêt: 844

Québec (Province) Conseil des universités.

Rapport du Comité sur la formation en biotechnologie, 1984.03.15 / Conseil des universités. -- [Québec] : Le Conseil, [1984].
433, [10], 164 p. ; 28 cm.

Notes (part. bibliogr.) au bas des p.

Descripteur(s): *Sciences biologiques *Techniques biologiques *Formation professionnelle *Profil de formation *Evaluation de programmes *Chimie *Questionnaire *Universitaire (Niveau)

Identificateur(s) de sujet: *Biotechnologie *Ingénierie

Le développement de la recherche biotechnologique ayant été jugé d'un intérêt vital pour le Québec, le ministre de l'Education a demandé au Conseil des universités un avis sur la formation dispensée dans ce domaine. Deux orientations principales se dégageaient du mandat conféré; 1. une évaluation de la qualité de l'ensemble des activités de formation essentielles au développement d'une main-d'oeuvre qualifiée en biotechnologie dans les universités; 2. une réflexion sur les moyens de corriger les lacunes observées et d'établir des profils de formation correspondant aux fonctions d'emploi dans le domaine.

Une enquête a été menée conjointement par le Conseil et le Comité sur la biotechnologie du Conseil de la politique scientifique du Québec, à l'aide d'une grille (reproduite dans le texte) expédiée en décembre 1982 aux vice-recteurs à l'enseignement et à la recherche des universités. Parallèlement, une revue de la documentation a été réalisée. Pour l'évaluation de la qualité de la formation dispensée, on a tenu compte de la pertinence des activités de recherche ou d'enseignement, de la masse critique reliée à ces activités, de la productivité et de l'adéquation des activités.

Parmi les recommandations formulées, mentionnons: 1. que la main-d'oeuvre requise soit formée dans le cadre des programmes existants (bioscience, bioingénierie, etc.); 2. que les programmes de premier cycle dans les biosciences impliquées en biotechnologie comportent des activités de sensibilisation des étudiants aux applications industrielles et commerciales de leur discipline; 3. qu'ils comportent un cours d'initiation à l'ingénierie; 4. que les programmes en ingénierie, génie chimique et biochimique comportent un cours d'initiation générale aux biosciences; 5. comme il semble inopportun d'instaurer des programmes de maîtrise ou de doctorat en biotechnologie, qu'on utilise les programmes existants dans le secteur.

Type de document: r

EDUQ 8470800

CONSEIL DES UNIVERSITES

# RAPPORT DU
# COMITE SUR LA FORMATION EN BIOTECHNOLOGIE

EDUQ 8470800

CONSEIL DES UNIVERSITES

# RAPPORT DU
# COMITE SUR LA FORMATION EN BIOTECHNOLOGIE
# 1984.03.15

QUEBEC, le 15 mars 1984

Monsieur Jacques L'Ecuyer
Président
Conseil des universités
2700 Boul. Laurier
Tour Frontenac, suite 810
Sainte-Foy

Monsieur le Président,

Le comité ad hoc chargé de donner suite au mandat qui vous a été confié par le ministre de l'Education, monsieur Camille Laurin, sur la formation en biotechnologie, a l'honneur de vous présenter son rapport sur la question sus-mentionnée.

Nous vous remercions à l'avance de l'attention que vous accorderez à ce document et vous prions d'agréer, monsieur le Président, l'assurance de toute notre considération.

Yvon Sicotte, président

Claude Vézina

J. André Fortin

Nicole Lapierre-Vincent

Nicole Lapierre-Vincent, secrétaire

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION..... 9

PARTIE I: PROBLEMATIQUE - ORIENTATIONS - DEMARCHE..... 13

PROBLEMATIQUE SOULEVEE PAR LE MANDAT ET ORIENTATIONS DU COMITE..... 15

1. INTRODUCTION ..... 15
2. DEFINITION DE LA BIOTECHNOLOGIE ..... 17
3. BIOSCIENCES - BIOTECHNOLOGIES - BIOINDUSTRIES ..... 23
4. LE PROFIL DES COMPETENCES REQUISES EN BIOSCIENCES, BIOTECHNOLOGIE ET BIOINDUSTRIES..... 28
   - 4.1 Les compétences requises en biosciences..... 30
   - 4.2 Main d'oeuvre et biotechnologie..... 32
   - 4.3 La main-d'oeuvre dans les bioindustries..... 35
5. LES PROGRAMMES DE FORMATION..... 40
   - 5.1 Les programmes de formation en biosciences et en bioingénieries ..... 41
   - 5.2 La contribution de l'université au développement de la biotechnologie..... 45

DEMARCHE DU COMITE

6. DEROULEMENT DES ACTIVITES..... 50
   - 6.1 L'enquête..... 50
   - 6.2 Etablissement d'une bibliographie et consultation des documents pertinents sur la biotechnologie... 56
   - 6.3 Mise en forme des données..... 56
   - 6.4 Analyse des données et réflexion sur la situation 57

PARTIE II: ANALYSE DES DONNEES

INTRODUCTION..... 63
1. UNIVERSITE DE MONTREAL..... 65
1.1 Description synthétique des données..... 65
1.2 Portrait des tendances..... 76
1.3 Analyse du potentiel de recherche et de formation aux études avancées..... 92
1.4 Conclusion..... 109
Appendice A..... 113
Appendice B..... 116
2. UNIVERSITE LAVAL..... 117
2.1 Description synthétique des données..... 117
2.2 Portrait des tendances..... 127
2.3 Analyse du potentiel de recherche et de formation aux études avancées..... 142
2.4 Conclusion..... 158
Appendice A..... 161
3. UNIVERSITE CONCORDIA..... 165
3.1 Description synthétique des données..... 165
3.2 Portrait des tendances..... 173
3.3 Analyse du potentiel de recherche et de formation aux études avancées..... 178
3.4 Conclusion..... 183
Appendice A..... 184
Appendice B..... 185
4. UNIVERSITE MCGILL..... 187
4.1 Description synthétique des données..... 187
4.2 Portrait des tendances..... 193
4.3 Analyse du potentiel de recherche et de formation aux études avancées..... 205
4.4 Conclusion..... 218
Appendice A..... 220

5. UNIVERSITE DE SHERBROOKE..... 223
5.1 Description synthétique des données..... 223
5.2 Portrait des tendances..... 231
5.3 Analyse du potentiel de recherche et de formation aux études avancées..... 245
5.4 Conclusion..... 256
Appendice A..... 258
6. INSTITUT ARMAND-FRAPPIER..... 259
6.1 Description synthétique des données..... 259
6.2 Portrait des tendances..... 272
6.3 Analyse du potentiel de recherche et de formation aux études avancées ..... 283
6.4 Conclusion..... 295
Appendice A..... 298
Appendice B..... 299
7. UNIVERSITE DU QUEBEC, AUTRES CONSTITUANTES..... 301
7.1 Description synthétique des données..... 301
7.2 Portrait des tendances..... 317
7.3 Analyse du potentiel de recherche et de formation aux études avancées..... 331
7.4 Conclusion..... 345
Appendice A..... 347
Appendice B..... 349
Appendice C..... 350

PARTIE III: CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSIONS DU COMITE ET RECOMMANDATIONS..... 353
1. LE TABLEAU D'ENSEMBLE..... 353
2. LE CADRE DES PROGRAMMES..... 356
3. LES PROGRAMMES DE 1ER CYCLE EN BIOSCIENCES..... 359
3.1 L'interdisciplinarité structurale..... 360
3.2 L'interdisciplinarité commandée par la pratique professionnelle..... 361
3.3 L'ouverture à l'ingénierie..... 363
4. LES PROGRAMMES DE 1ER CYCLE EN INGENIERIE..... 365
5. LES PROGRAMMES DE 1ER CYCLE DANS LES SECTEURS D'APPLICATION DES BIOSCIENCES..... 367
6. LES PROGRAMMES D'ETUDES SUPERIEURES..... 369
6.1 Les cours avancés..... 369
6.2 La pertinence biotechnologique des travaux..... 373
6.3 Les équipes interdisciplinaires..... 376
6.4 La formation continue ..... 382
7. L'ETAT DE DEVELOPPEMENT DES RECHERCHES UNIVERSITAIRES EN BIOTECHNOLOGIE ET LEUR EVOLUTION SOUHAITABLE..... 383
7.1 La structure des équipes de recherche..... 384
7.2 Les biosciences ..... 387
7.3 Les bioingénieries..... 393
7.4 Les biotechnologies ..... 397
7.5 Les filières d'application..... 401
8. CONCLUSION..... 419

SYNTHESE DES RECOMMANDATIONS..... 423

ANNEXE 1
ANNEXE 2
ANNEXE 3

## INTRODUCTION

"Le développement des recherches biotechnologiques est pour le Québec d'un intérêt vital"*

C'est ce qu'affirmaient les auteurs du "Programme d'intervention pour le développement de la recherche en biotechnologies au Québec, phase I: 1982-1987", après une période de consultation sur un projet préliminaire d'intervention.

Dans ce document, une partie du chapitre consacré aux mesures à prendre concerne le développement des ressources humaines; le constat suivant y est fait: "il n'est pas évident que dans nos universités chacune des disciplines dont les biotechnologies requièrent le concours dispose déjà d'un effectif suffisant de chercheurs de haut niveau et soit en mesure d'assurer une formation de qualité" (Ibid. p. 17).

En effet, des études internationales et nationales "s'accordent pour souligner que le manque de personnel qualifié risque fort de constituer un véritable goulot d'étranglement qui, au-delà des investissements, ralentira le développement des biotechnologies et des bioindustries" (Ibid. p. 17). Si cette affirmation est moins vraie dans le secteur médical, elle prend toute son acuité dans les autres secteurs de la biotechnologie.

Le programme poursuit en concluant que le développement des ressources humaines doit viser deux objectifs: l'accroissement du personnel spécialisé en biotechnologies et, simultanément, la recherche d'un niveau d'excellence de qualité internationale (Ibid. p. 17).

Déjà en 1980, dans l'"Enoncé d'orientations et plan d'action pour la mise en oeuvre d'une politique québécoise de la recherche scientifique",

---

* A l'heure des biotechnologies, Secrétariat à la Science et à la Technologie, juillet 1982, page 1

on pouvait lire: "l'option stratégique fondamentale de ce plan d'action consiste donc à faire du développement et de la promotion de nos ressources humaines (...) l'objet premier de l'engagement de l'Etat en matière de politique scientifique"*.

Selon les mêmes paramètres et dans la même foulée, le "Programme d'action économique 1982-1986, Bâtir le Québec - Phase 2"* comptait promouvoir le développement des ressources humaines au chapitre des nouvelles technologies - où les biotechnologies constituent une des priorités - en favorisant le recyclage des chercheurs, la création de postes de chercheurs et de techniciens dans les universités et dans les industries, l'octroi de bourses aux études avancées et post-doctorales, l'établissement de centres d'excellence, etc.

C'est dans ce contexte et à partir de la nécessité d'étudier de façon spécifique et approfondie les problèmes pressant posés par la formation de personnel qualifié que la cinquième mission ad hoc sur la formation en biotechnologies, - circonscrite dans le programme d'intervention lui-même, - était confiée au Conseil des universités par le ministre de l'Education, en juillet 1982:

> "Je demande au Conseil des universités un avis sur la formation en biotechnologies, particulièrement sur les points suivants:
> - la qualité des programmes actuels et de l'enseignement dans les biosciences requises pour la formation des chercheurs en biotechnologies et dans les sciences appliquées requises pour la formation de bioingénieurs;
> - les moyens d'élever cette qualité et, éventuellement, la façon de combler les lacunes;

---

* Gouvernement du Québec, 1982, p. 52

- les moyens de faciliter l'établissement de profils de formation qui permettent une interdisciplinarité intégrée, un encadrement rigoureux des étudiants et, le cas échéant, des collaborations interinstitutionnelles". (Voir lettre du ministre en annexe 1)

Pour réaliser ce mandat, le Conseil créait en novembre 1982, un comité ad hoc chargé de faire les études nécessaires à la rédaction d'un rapport et d'un avis sur cette question. La composition de ce comité était la suivante:

- Monsieur Yvon Sicotte, président
  Département de chimie, U. de M.
- Monsieur J. André Fortin
  Faculté de Foresterie et de Géodésie, U. Laval
- Monsieur Claude Vézina *
  Laboratoires Ayerst, Montréal
- Madame Nicole Lapierre Vincent, secrétaire
  Conseil des universités

Après 15 mois de travaux, le Comité sur la formation en biotechnologie remet au Conseil le présent rapport qui fait état:

Partie I : de l'interprétation du mandat conféré et des limites de sa réalisation, des opérations engendrées pour sa mise en oeuvre, de la problématique établie et des orientations prises;

Partie II : des résultats de l'enquête effectuée sur les programmes de formation et de recherche en biotechnologie et de l'analyse qui en a été faite;

Partie III: des recommandations du comité suivi d'un état de développement de la recherche en biotechnologie.

Enfin, on trouvera à la fin une synthèse des recommandations du comité sur la formation en biotechnologie.

---

* Depuis sa nomination au comité, monsieur Vézina a accepté le poste de directeur adjoint de l'Institut Armand-Frappier

# PARTIE I

PROBLEMATIQUE

ORIENTATIONS

DEMARCHE

# PARTIE I

## PROBLEMATIQUE SOULEVEE PAR LE MANDAT ET ORIENTATIONS DU COMITE

### 1. INTRODUCTION

D'une lecture au premier degré du mandat conféré au comité, il se dégage que l'étude devrait comporter essentiellement deux phases:

- une évaluation de la qualité de l'ensemble des activités de formation - cours formels, recherche - essentielles au développement d'une main-d'oeuvre qualifiée en biotechnologie dans les universités,
- une réflexion sur les moyens de corriger les lacunes observées et d'établir des profils de formation pertinents aux fonctions d'emploi en biotechnologie.

Cependant, une lecture au second degré fait affluer une série d'interrogations aussi bien sur les signifiés auxquels renvoient les termes de "qualité", de "programmes", de "biotechnologies", de "biosciences", de "sciences appliquées pertinentes à la formation des bioingénieurs", que sur le développement éventuel de la biotechnologie. En effet, le comité se demande quelle évolution est prévisible pour ce secteur, dans quel domaine d'activités, dans quelles techniques et, conséquemment, quels seraient les scénarios de formation les plus appropriés et les plus "rentables" à long terme pour satisfaire les impératifs de ce développement.

Les questions sont vastes et restent posées pour l'ensemble des "grands" comités qui se sont penchés sur le développement de la biotechnologie. On trouvera, en annexe, un texte intitulé La biotechnologie au Québec: mise en perspective dans le contexte international, annexe au rapport... (octobre 1983), qui servira d'éclairage

au présent rapport, faisant l'analyse des rapports nationaux et internationaux sur la biotechnologie en ce qui a trait à plusieurs éléments du scénario de développement qui en découle et de sa transposabilité au Québec. Nous reprendrons ici les éléments de ce texte qui sont les plus immédiatement pertinents à notre propos.

Comme nous le verrons, plusieurs inconnues demeurent et le présent comité n'a pas la prétention d'avoir pu - dans les limites de son mandat, de ses ressources et du temps imparti - dessiner un scénario prospectif des besoins de formation et de main-d'oeuvre. Au demeurant, s'est-il modestement attardé à l'inventaire des ressources et des programmes existants, à l'analyse de leur potentiel de formation de main-d'oeuvre spécialisée et, enfin, à la recherche de moyens pouvant privilégier de façon large le renforcement des compétences dans le(s) secteur(s) concerné(s) par la présente étude.

Cette clarification étant faite sur les limites conjoncturales inhérentes à cette étude, la partie I tentera, tout en précisant la portée du mandat, de dégager la problématique sous-jacente et les orientations du comité; enfin, elle fera état de la démarche du comité en termes d'opérations engendrées.

## 2. DEFINITION DE LA BIOTECHNOLOGIE

Signe du foisonnement des activités qu'elle recouvre, la biotechnologie a reçu des définitions multiples qui reflètent "les centres d'intérêt et les idées préconçues de chacun "comme le font remarquer les auteurs du Rapport Tendances internationales et perspectives en biotechnologie de l'O.C.D.E.*, à qui il semble "raisonnable" de la définir comme suit:

> (La biotechnologie, c'est) "l'application des principes de la science et de l'ingénierie au traitement de matières par des agents biologiques et au traitement de matières biologiques dans la production de biens et de services" (page 5).

Les "principes de la science et de l'ingénierie" font appel ici à un grand nombre de domaines mais surtout à la microbiologie, à la biochimie, à la génétique, au génie chimique et biochimique. Le texte du rapport précise aussi que:

> "il est peu probable qu'un biotechnologue soit bien versé dans l'ensemble des disciplines sur lesquelles s'appuie la biotechnologie mais, à partir de sa formation initiale dans une discipline particulière, il aura acquis une connaissance plus large de la biotechnologie en appliquant ses compétences à la résolution de problèmes pratiques" (Ibid. p. 5).

La citation de ces deux extraits n'est pas sans intérêt. Tout d'abord, la définition de l'O.C.D.E. permet de cerner les multiples facettes de l'activité biotechnologique:

1) l'apport des sciences (biosciences) et des sciences appliquées (bioingénierie),
2) le traitement biologique ou chimique de matières biologiques et/ou de matières quelconques par des agents biologiques (micro-organismes, enzymes, cellules animales ou végétales) à l'aide d'un certain nombre de technologies,

---

* A. T. Bull et al., Biotechnologie et politiques gouvernementales, Comité de la politique scientifique et technologique, O.C.D.E., Paris, 1982.

3) la production de biens ou de services*.

Non seulement cette définition retrace les trois volets déjà connus de la chaîne

BIOSCIENCES - BIOTECHNOLOGIES - BIOINDUSTRIES

dont l'ensemble constituera pour nous la biotechnologie, mais elle circonscrit le domaine d'activité propre à la biotechnologie en termes de transformation de la matière (biologique ou par des moyens biologiques) et en termes d'orientation vers des applications (production de biens et de services).

Cette orientation vers des applications peut être à plus ou moins court terme. On peut parler de biotechnologie au sens restreint quand on est à la phase application. La définition de l'O.C.D.E. pourrait se prêter à une telle lecture. En fait, cette définition, et son contexte dans le rapport de l'O.C.D.E., déborde largement ce sens restreint. La biotechnologie englobe également les activités orientées vers le développement des technologies elles-mêmes. Il s'agit alors de la mise au point de nouveaux outils. En plus des travaux de recherche orientés vers des applications clairement identifiées et de ceux portant sur l'amélioration des technologies, le comité a cru devoir considérer comme pertinent à la biotechnologie les travaux de recherche visant le progrès des connaissances dans les domaines qui constituent les goulots d'étranglement du développement du secteur, étant donné que ce sont ces progrès qui généreront les applications futures.

Le deuxième extrait du rapport de l'O.C.D.E. donne l'occasion au comité d'établir que

1) "la biotechnologie n'est pas une discipline mais un domaine d'activité" scientifique (Tendances, op. cit. p. 4);

---

* Biens: comprend les produits industriels liés à l'alimentation, les boissons, les produits pharmaceutiques, les produits biochimiques et l'extraction des métaux; Services: se réfère surtout à purification de l'eau, traitement des déchets industriels et domestiques, (Ibid. p. 6).

2) un biotechnologue* est quelqu'un qui détient une formation initiale dans une discipline particulière et qui a été sensibilisé (ou formé) à d'autres disciplines.

Le programme d'intervention, A l'heure des biotechnologies a toutefois affiné la définition de l'O.C.D.E. de la biotechnologie et réaffirmé l'apport des disciplines de la biologie, de la biochimie, etc. mais aussi celle de la chimie comme incontestablement relié au développement de ce secteur. Le comité et les universités s'étant référés à ces deux sources, nous faisons aussi état de cette définition:

> "La biotechnologie, c'est l'ensemble des méthodes et des procédés, des techniques qui, appliqués à des micro-organismes, des cellules animales ou végétales, ou des fractions de celles-ci, visent à réaliser, à produire des molécules nouvelles, des cellules nouvelles ou des organismes nouveaux. Il s'agit, le plus souvent, en opérant à l'échelle cellulaire ou infra-cellulaire, d'obtenir des produits nouveaux, ou encore des produits déjà connus, mais par des voies nouvelles, de nature biologique, bioconversions ou biocatalyses" (p.1).

Cette dernière définition explicite que les réalisations envisagées ne sont pas toutes de la nature des biens et services au sens strict. La production d'un organisme nouveau peut présenter beaucoup d'intérêt au point de vue économique.

L'utilité d'une définition se mesure autant à ce qu'elle englobe qu'à ce qu'elle exclut. Sans viser à figer dans un carcan serré les précisions auxquelles renvoie une définition opérationnelle, le comité a tenu à circonscrire, au moment de l'enquête effectuée auprès des universités, les catégories qu'il croyait être concernées par la biotechnologie: ses techniques spécifiques (les biotechnologies), les organismes (vivants) utilisés, les nouveaux produits, procédés ou réalisations envisagés et finalement, les filières d'application. Les voici en détail:

---

* Terme que le Comité évitera d'employer par la suite compte tenu de la multiplicité de conjugaisons de compétences à laquelle il peut renvoyer et compte tenu du fait qu'il ne s'applique pas spécifiquement à la formation des chercheurs en biotechnologie.

. Les techniques (les biotechnologies) spécifiques:

1. La sélection de souches, sélection de lignées microbiennes végétales et animales et conservation de génomes d'intérêt industriel.
2. La culture cellulaire, ou la culture de cellules végétales ou animales in vitro et leur utilisation.
3. La fusion cellulaire, ou la fusion artificielle de cellules (hybridome pour anticorps monoclonaux, fusion de protoplastes chez les végétaux et chez les microbes).
4. Le génie génétique, ensemble de techniques de la biologie moléculaire qui permet de modifier les molécules d'ADN conduisant à la production d'organismes aux propriétés génétiques nouvelles.
5. Le génie enzymatique, ou technique de production, d'immobilisation et d'utilisation d'enzymes de diverses provenances.
6. Le génie des fermenteurs, ou technologies des fermentations, incluant le design et le fonctionnement des fermenteurs.
7. Les procédés d'extraction, de purification et de conservation de molécules d'origine biologique.

. Les organismes utilisés:

L'inventaire des organismes (ou fractions de ceux-ci), susceptibles d'être utilisés le plus vraisemblablement en biotechnologie, donne la liste suivante:

1. virus des animaux et des végétaux, bactériophages
2. procaryotes: bactéries (incluant les actinomycètes), algues bleues - vertes
3. eucaryotes: algues, champignons (incluant les levures), cellules et tissus végétaux, cellules et tissus animaux.

. Les nouveaux produits, procédés ou réalisations envisagés:

L'obtention de produits ou de procédés nouveaux (ou de produits déjà connus mais par des voies nouvelles) pourrait se résumer à la réalisation, à la fabrication ou à la mise au point:

1. de produits pharmaceutiques et biologiques: antibiotiques, vaccins sous-unitaires, anticorps, vitamines, insuline, hormones de croissance, interférons, biopesticides, etc.;
2. de produits chimiques: substitution de la cellulose et de la lignine aux hydrocarbures, etc.;
3. de produits énergétiques à partir de la biomasse;
4. de produits d'extraction des minéraux;
5. de protéines d'organismes monocellulaires pour la nourriture animale;
6. de nouvelles générations de plantes, de céréales ou d'arbres.

. Les filières d'application possibles:

1. la santé (humaine et animale);
2. l'agriculture;
3. la foresterie;
4. l'alimentaire;
5. l'énergie;
6. l'industrie chimique;
7. la xylochimie;
8. le traitement des pollutions;
9. les mines.

On retrouve dans beaucoup de rapports ces différentes catégories dont les éléments, cependant, varient quelque peu d'un comité à l'autre. Le comité n'a pas proposé de façon directe une définition de la biotechnologie, susceptible de fournir un cadre strict aux réponses. Il a plutôt choisi de laisser aux répondants le soin de décrire eux-mêmes en quoi leurs activités étaient "biotechnologiques" et de s'inspirer, à l'instar du comité, des définitions les plus usitées à ce moment-là. C'est pour donner un cadre à cette description que le comité a soumis aux universités les catégories ci-haut, en indiquant dans chacune les éléments les plus couramment cités, laissant aux universités le soin de les

compléter. Cette attitude permettait une ouverture attentive à la façon de voir l'évolution d'un secteur nouveau qu'une définition trop stricte risquait de contraindre. Elle lui a effectivement permis de prendre connaissance de projections inusitées et d'en apprécier l'intérêt, en l'occurence.

A l'importance de situer la biotechnologie et les référents qu'elle évoque s'ajoute celle de montrer les relations existant entre les trois volets du tryptique - BIOSCIENCES, BIOTECHNOLOGIES, BIOINDUSTRIES - comme un élément important de la problématique de l'étude.

## 3. BIOSCIENCES - BIOTECHNOLOGIES - BIOINDUSTRIES

Comme la plupart des rapports importants sur la biotechnologie (O.C.D.E., Spinks, Pelissolo, Brossard, etc.), le comité insiste sur l'importance de considérer simultanément ces trois volets, leurs interrelations et leur poids respectif, dans tout plan de développement.

Les biotechnologies sont l'un des éléments d'un système qui fait appel, en amont, aux biosciences, productrices de connaissances et, en aval, aux bioindustries, lieux d'utilisation des savoirs et des technologies, et de production de biens et de services. Elles ne peuvent pas exister en abstraction des deux autres et c'est dans l'ensemble des trois volets qu'il faut "que le courant passe" pour reprendre l'expression de Pelissolo* afin que la biotechnologie puisse atteindre les objectifs socio-économiques qu'on lui assigne.

En effet, si elles attirent à ce point l'attention actuellement, c'est dans la mesure où des retombées économiques sont escomptées de leur utilisation. Tout autant qu'une définition, ce sont donc les objectifs socio-économiques visés qui cernent la réalité biotechnologique que tous les gouvernements tentent maintenant de mettre à profit: "De nombreux indices convergents font prévoir une mutation rapide et l'émergence, dans les vingt prochaines années, de nouvelles activités économiques, fondées sur la domestication de la matière vivante au bénéfice de l'homme et de son environnement" (ibid., p. 19). Cette mutation se produira inexorablement et le défi est de s'y préparer convenablement, tout en gardant à l'esprit qu'il s'agit d'un effort de longue durée et qu'il faudra en permanence "ajuster les modes d'action et d'intervention à la situation" (Ibid, p. 21).

---

* Pelissolo, Jean-Claude, La Biotechnologie, demain?, Rapport du premier ministre, Délégation générale à la recherche scientifique et technique, La documentation française, Paris 1980, p. 23.

Toutefois, le rapport d'un groupe de travail de la Royal Society de Londres, Biotechnology and Education*, dont le mandat était d'étudier les recommandations du rapport Spinks, souligne la nécessité de ne pas privilégier dès maintenant telle ou telle filière d'application, telle ou telle technique, telle ou telle discipline spécifique et de mettre pour l'instant l'insistance sur la recherche, sur l'évaluation de la qualité et de la quantité de la formation dispensée à la main-d'oeuvre spécialisée en biotechnologie - qui, selon lui, doit être très polyvalente et orientée de telle sorte qu'elle puisse permettre la compréhension et l'esprit critique nécessaires pour identifier et saisir les opportunités commerciales en biotechnologie.

Dans le même sens, et pour donner suite au rapport Spinks, le gouvernement britannique publiait un livre blanc, Biotechnology où, devant l'impossibilité de prévoir pour l'instant des développements spécifiques, il préconisait l'intensification de l'effort de recherche - fondamentale et appliquée - "to understand all the possibilities and to create the climate in wich selective development can be undertaken by those best able to perceive needs and assess the possibilities and risks" (p. 11).

Les experts du comité de la politique scientifique et technologique de l'O.C.D.E., chargés d'étudier le rapport Tendances internationales et perspectives en biotechnologie reprennent dans leur compte rendu les mêmes idées de planification à long terme dans un domaine dont on ne sait comment il va évoluer puisqu'il est entièrement tributaire des recherches fondamentales**. Pour les petits pays, les mêmes experts préconisent d'accroître de façon urgente les liens industrie-université-pouvoirs

---

* Cf. Biotechnology and Education, The report of a Working Group, The Royal Society, London 1981, p. 4.

** Compte rendu de la réunion: "Tendances internationales et perspectives en biotechnologie" et recommandations des experts, 17-18 mars 1982, O.C.D.E., Paris, p. 4.

publics en R. & D. "pour assurer le financement à long terme de la recherche fondamentale que la bio-industrie ne peut prendre en charge par suite de sa taille limitée, et pour encourager les contacts internationaux de recherche, en particulier pour la formation d'étudiants" (Ibid. p. 5).

Les auteurs du rapport de l'O.C.D.E. avaient déjà souligné l'importance de la recherche universitaire devant "être axée sur les problèmes fondamentaux", sur la transmission des connaissances et le transfert technologique:

> "La recherche dans le secteur de l'enseignement joue un rôle essentiel dans le développement de notre compréhension et de notre connaissance des principes scientifiques et techniques sur lesquels repose la biotechnologie et elle devrait être axée sur les problèmes fondamentaux. Il faut que ces connaissances soient transmises, si elles doivent être à la base de progrès scientifiques et techniques, d'une croissance économique et d'une amélioration du bien-être. La prospérité nationale dépendra, entre autres, de l'efficacité de l'échange d'informations et du couplage entre les groupes de recherche et l'industrie, ce qui constitue déjà une pratique bien établie dans plusieurs pays Membres de l'O.C.D.E. (Tendances, op. cit., p. 65).

Cette reconnaissance de l'importance de la recherche comme levier de développement de la biotechnologie s'accompagne de la non moins grande importance du transfert des connaissances vers les applications technologiques et, par voie de conséquence, de la nécessité d'intensifier les rapports université-industrie par des mécanismes appropriés, ce que confirme également le rapport Pelissolo.

C'est sous cet éclairage que le comité a poussé sa réflexion sur les programmes de formation, dans le contexte de l'importance relative qui doit être accordée, dans l'état actuel de la situation, aux trois pôles de

développement de la biotechnologie et à son impact sur la planification du développement des ressources humaines, contexte qui peut être résumé ainsi:

- l'émergence, d'ici vingt ans, d'activités économiques fondées sur les biotechnologies est à prévoir;
- toute planification du développement de l'ensemble du secteur de la biotechnologie doit être pensée à longue échéance, dans une perspective d'ouverture à son évolution, et dans une attitude de révision régulière des modes d'intervention;
- l'état de développement actuel de la biotechnologie incite à ne pas privilégier pour l'instant une filière d'application plus qu'une autre, une technique plutôt qu'une autre mais d'insister sur la qualité de la formation dispensée à la main-d'oeuvre spécialisée, qui doit être polyvalente et orientée vers la résolution de problèmes, et sur la masse critique de professeurs nécessaire à sa dispensation;
- les biosciences constituent, dans leur ensemble, l'infrastructure du développement des savoirs utiles aux praticiens et aux chercheurs mais il est difficile de dire, pour l'instant, quelle discipline sera la plus utile ou la plus prometteuse;
- la recherche fondamentale et appliquée à l'université est un levier essentiel au développement de la biotechnologie: il faut donc l'intensifier;
- la petite taille de l'infrastructure industrielle en biotechnologie, des petits pays et du Québec en particulier, incite de façon pressante à développer des liens industrie-université-pouvoirs publics afin d'assurer le financement de la recherche fondamentale et la transmission des connaissances à l'industrie, susceptibles de stimuler la recherche et de compléter la formation étudiante.

Etant donné la place centrale qu'occupent et doivent occuper les activités de recherche dans la formation des futurs spécialistes, il a paru essentiel au comité d'examiner, dans une première étape, les activités universitaires en biotechnologie sous différentes facettes:

- l'ampleur et la teneur de ces activités et le nombre de chercheurs impliqués;
- les techniques afférentes à la biotechnologie développées, les filières exploitées et les réalisations envisagées;
- le contexte disciplinaire et interdisciplinaire de ces activités, les regroupements de compétences et leur composition;
- le financement de ces activités, les liens créés avec l'industrie et les collaborations internationales entretenues.

## 4. LE PROFIL DES COMPETENCES REQUISES EN BIOSCIENCES, BIOTECHNOLOGIES ET BIOINDUSTRIES

Tel qu'on l'a déjà dit, il est difficile de cerner les voies de développement qu'empruntera la biotechnologie; à cet égard, il est d'autant plus difficile, voire impossible, de prévoir quelles seront les profils de formation les plus prometteurs pour le marché de l'emploi.

Mais compte tenu de la nouveauté de ce secteur et de l'abondante littérature qui en a fait la promotion, le premier réflexe a été de s'orienter vers la formation très pointue de spécialistes, experts chacun dans l'une ou l'autre des biotechnologies: cette voie a été rejetée dans les recommandations des rapports les plus récents sur cette question. En cours de préparation de Tendances internationales et perspectives en biotechnologies à l'O.C.D.E., le groupe de travail déclarait en 1981:

> "There is no clear profile yet of a "biotechnologist", and therefore no clarity on what a bioengineering curriculum should contain or where it should be taugt. It is probably still to early to formulate such a curriculum, and some have expressed strong doubts as to whether there should be a specific biotechnology curriculum at the university level at all"*.

Toutefois, les auteurs du Rapport de la Royal Society, concernés par l'identification des besoins de formation générale et professionnelle, reconnaissaient que les groupes suivants de compétences pouvaient correspondre aux besoins éventuels:

---

* Committee for scientific and technological policy, Biotechnology and Government Policies, O.C.D.E. 1981, p. 14.

"Those people who will provide the basic skills, techniques and materials for industrial innovation through their scientific and engineering research".

"Those individuals whose role as professionnal engineers and technologists will be to translate new ideas into manufacturing processes and into economically viable products and services".

"Those who, as technicians and technical assistants, will operate, control and monitor such processes". (Royal Society, op. cit., p. 5)

Sans forcer le sens qu'on peut conférer aux mots et avec les nuances nécessaires, ce sont pratiquement les trois volets énumérés précédemment - BIOSCIENCES, BIOTECHNOLOGIES, BIOINDUSTRIES - qui réapparaissent ici. C'est pour cet ensemble d'activités qu'il convient de préparer une main-d'oeuvre adéquate, à l'aide de programmes et/ou de modalités de formation qui pourraient varier selon les fonctions de travail à envisager.

Pour pouvoir discuter, avec un peu de pertinence, de programmes de formation de main-d'oeuvre en biotechnologie, il y aurait donc lieu de faire une incursion dans l'environnement scientifique, technologique et industriel qui devra présider au développement de ce secteur, où un certain nombre de fonctions de travail s'exercent. Nous pourrons alors voir si la connaissance actuelle des types de fonctions de travail exercées est suffisamment claire pour permettre de la prendre en compte dans la réflexion sur les programmes de formation.

## 4.1 Les compétences requises en biosciences

Il s'agit ici de l'activité des chercheurs qui travaillent à faire progresser nos connaissances dans les disciplines d'où sont le plus susceptibles d'originer les applications biotechnologiques. A titre d'exemples, le programme d'intervention énumère: microbiologie, génétique, biologie moléculaire, biochimie, chimie organique, physiologie végétale, physiologie cellulaire, virologie, etc. (op. cit. p. 4).

On trouve dans cette liste des disciplines qui, historiquement, ont déjà contribué de façon significative aux découvertes les plus importantes en biotechnologie - la microbiologie, par exemple - mais aussi des disciplines que les experts considèrent les plus susceptibles de déboucher sur des applications du plus haut intérêt - comme la physiologie végétale. D'autres s'y ajoutent déjà.

La consultation des grands rapports et l'inventaire des disciplines auquel a donné lieu l'enquête pourraient augmenter et préciser cette liste de la façon suivante:

1. la microbiologie;
2. la chimie, et plus particulièrement la chimie organique;
3. la biochimie;
4. la biologie cellulaire et moléculaire;
5. la biologie végétale, surtout les aspects concernant la cytologie, la génétique et la physiologie, la morphogénèse, le contrôle hormonal de croissance, les relations avec les symbiotes et les parasites, la phycologie et la mycologie, etc.
6. la biologie animale, surtout les aspects concernant la cytologie, la génétique, la physiologie, l'embryogénèse, le contrôle de l'ovulation, l'insémination artificielle, les phénhormones, etc.

Ces biosciences débordent considérablement la biotechnologie mais, dans chacune d'elles, il existe des sources de réalisations biotechnologiques.

On ne peut donc envisager aucune percée importante en biotechnologie sans avoir un bassin de chercheurs - et de chercheurs en formation - oeuvrant dans un nombre suffisant de domaines pertinents à l'intérieur de ces disciplines.

Les activités, dans ce dernier volet, sont donc essentiellement des activités de recherche, fondamentale ou appliquée (v.g. O.C.D.E., p. 32), susceptibles de générer des découvertes intéressant les biotechnologies. Elles se déroulent dans des établissements universitaires et dans des centres de recherche et instituts reliés aux organismes d'Etat, aux universités ou à l'industrie. Au Québec, la faiblesse actuelle de l'infrastructure bioindustrielle et de la R. & D. industrielle, laisse une place prépondérante à la recherche universitaire. C'est là une caractéristique de la situation actuelle que le comité suggère de garder à l'esprit.

Dans ce premier volet, les compétences seront donc développées chez ceux qui, par leur recherche en sciences et en ingénierie, fourniront les connaissances fondamentales, les progrès des techniques et les éléments nécessaires à l'innovation industrielle.

En conséquence, les probabilités d'embauche de la main-d'oeuvre seront déterminées par les budgets des universités et des centres de recherche, - compte tenu des choix institutionnels de développement - et par les subventions accordées aux chercheurs individuels, aux équipes et aux centres par les organismes subventionnaires principaux ou en provenance de fondations, de ministères ou de l'industrie.

Toutefois, pour assurer au Québec des enseignements de qualité dans toute la gamme des disciplines requises pour former la diversité des spécialistes, il faut un effectif suffisant de chercheurs de haut niveau, capables de dispenser une formation de qualité dans une couverture disciplinaire exhaustive (v.g. Programme, pp. 23,17).

## 4.2 Main d'oeuvre et biotechnologie

Il va de soi qu'un niveau élevé d'activités de recherche dans les biosciences n'assure pas nécessairement le transfert des découvertes vers des applications; il en est cependant le préalable. Par contre, l'application des connaissances acquises dans les disciplines nourricières des biotechnologies, afin de développer de nouvelles techniques ou modifier des techniques existantes et mettre en oeuvre les promesses attendues de ces techniques, reste un élément important, sinon primordial, des biotechnologies.

Le niveau de compétence requise dans ce volet des biotechnologies exigera du candidat qu'il ait développé non seulement de l'expertise dans un ou plusieurs des domaines en amont des biotechnologies mais aussi une préoccupation plus immédiate des besoins socio-économiques et surtout, une aptitude à juger des possibilités d'une découverte et à en modéliser l'application, si elle s'avère intéressante.

Si on se reporte à la définition du groupe de travail de la Royal Society, il s'agirait ici des "ingénieurs et des technologues qui sauront transposer des découvertes en processus industriels et en biens et services économiquement viables." *. La tentation serait grande ici d'adhérer entièrement à cette description et de circonscrire exclusivement, sous cette fonction du transfert technologique, les ingénieurs chimistes et biochimistes, les ingénieurs des procédés et des systèmes, etc. Or, dans la réalité d'un secteur en émergence comme les biotechnologies, cette fonction de transposition des découvertes en produits finis ou en produits de transformation est très souvent assumée par les chercheurs eux-mêmes, initiateurs des découvertes ou bien, par l'apport d'expertises supplémentaires que l'équipe de chercheurs - ou le chercheur - aura pu s'adjoindre.

---

*1 Traduction libre

Le comité ne veut pas signifier par là que le rôle d'une structure industrielle n'est pas alors indispensable à l'expérimentation sur une haute échelle, à la production massive d'un produit et à sa distribution; il veut souligner cependant qu'il est difficile, dans l'état actuel de la situation vécue - qui pourrait se refléter dans les perspectives de formation - d'opérer une segmentation de fonction aussi nette que le schéma suivant pourrait laisser présager:

biosciences : chercheurs
biotechnologies : ingénieurs et techniciens

Le comité estime que le "biotechnologue"* peut être le chercheur en biosciences sensibilisé aux applications de sa recherche, à son utilité, pour mettre au point des techniques nouvelles ou des produits nouveaux; il pourra aussi être le chercheur en sciences appliquées (sciences du bois, de l'alimentation, de l'environnement, etc.) et l'ingénieur, orientés vers la mise au point de processus industriels; il pourra aussi être le biologiste ou le biochimiste junior qui pourra réaliser - dans une chaîne d'opérations complexes - des opérations spécifiques (segmentation de gènes, isolement de souches, etc.). Comme on le constate, il serait injustifié de considérer comme l'apanage exclusif des sciences appliquées et de l'ingénierie la formation des compétences en "transfert technologique".

Dans l'examen des projets de recherche, l'objectif du comité a donc été de voir globalement - que ce soit en sciences fondamentales autant qu'en sciences appliquées - quelle était la pertinence des recherches à l'égard du secteur, et compte tenu de leur degré d'avancement vers des applications prévisibles plutôt que d'identifier des rôles définis pour chaque discipline. Le comité a aussi tenté de cerner les liens interdisciplinaires qui favorisaient l'émergence de réalisations biotechnologiques comme un prédicat indispensable - la plupart du temps - à leur existence.

---

* Avec toutes les réserves que ce terme comporte.

Pour cerner davantage les fonctions de travail reliées au transfert technologique, il faudra se référer aux diverses catégories dont nous avons fait état au point 2, en termes de techniques (génie génétique, systèmes enzymatiques, technologies des fermentations, etc.), de produits envisagés (produits biologiques, pharmaceutiques, chimiques, de biotraitement des pollutions, etc.), de filières d'applications (santé, agriculture, foresterie, etc.) qui présentent de l'intérêt autant pour les secteurs industriels primaire et secondaire (mines, agriculture, agro-alimentaire, énergie, etc) que pour le secteur tertiaire (santé, environnement).

Pour comprendre les mécanismes qui régissent le niveau d'activités en transfert technologique, il importe de réaliser que c'est l'industrie - au sens large - qui en est le déclencheur. C'est elle qui détecte les besoins, recherche les découvertes pouvant donner lieu à des applications - ou autrement, cherche les compétences susceptibles d'opérer les découvertes espérées - et développe la production, rôle qu'elle ne joue actuellement que très faiblement:

> "il faudrait que deux fois plus d'entreprises québécoises fondent leur stratégie d'innovation sur des capacités de conception et de recherche industrielle et que les entreprises doublent les ressources qu'elles consacrent à l'innovation, à l'acquisition de technologie et à la réalisation de R. & D. Le soutien qu'elles peuvent recevoir tant sur le plan financier que sur celui des services à caractère technologique (gouvernements, universités, laboratoires et organismes divers) doit être aussi fortement majoré. Un tel objectif ne peut être atteint qu'à moyen et à long terme" (Le virage technologique, op. cit. pp. 77-78).

Il existe évidemment, dans certaines filières d'applications, des activités de transfert technologique en milieu universitaire, quand la mission ou la tradition des établissements s'y prêtent mais ces activités se font généralement en étroite collaboration avec les industries ou les organismes de service.

Les employeurs, dans ce volet, sont et pourront être les laboratoires des industries (qui, on le sait, ont très peu d'activités bioindustrielles dans les secteurs primaire et secondaire), les laboratoires de recherche reliés aux services et les laboratoires universitaires, selon leur degré respectif de développement et selon les filières d'applications empruntées. Pour l'instant, la présence des universités et des centres de recherche qui leur sont affiliés reste prépondérante dans le développement et l'utilisation des compétences en transfert technologique.

Cependant, si on veut hausser le niveau d'activités dans les deux premiers volets, il est bien évident qu'il faudra également augmenter les crédits de ces "employeurs" pour leur permettre d'engager davantage de personnel travaillant dans les voies que nous venons d'évoquer.

## 4.3 La main-d'oeuvre dans les bioindustries

Ces considérations sur la faiblesse des industries québécoises nous amènent à soulever le problème du vieillissement et du peu de débouchés qu'offre la structure techno-industrielle du Québec. Le développement des techniques et de la production elle-même se situent pourtant au coeur des activités des bioindustries: il y a donc nécessité de stimuler de façon énergique la R. & D. industrielle au Québec et d'accroître l'apport des ressources humaines pouvant y contribuer:

"La disponibilité des ressources humaines conditionne à long terme le succès d'une réorientation de l'économie québécoise vers des activités industrielles à plus fort contenu technologique et un tel réalignement représente un défi pour l'ensemble des intervenants préoccupés par la formation" (Virage, op. cit., p. 80).

Le défi est en effet de taille. D'une part, les activités bioindustrielles sont à peine naissantes, et les filières d'applications prometteuses que pourraient emprunter la biotechnologie restent encore mal cernées. A cet égard, le Conseil de la science et de la technologie s'emploie en ce moment à identifier les créneaux de développement à privilégier; le "domaine des biosciences" constitue actuellement un des domaines de préoccupation. D'autre part, l'objectif de spécialisation et de formation qui viserait "une meilleure correspondance avec les besoins des industries" (Virage, op. cit. p. 80) reste réalisable dans la mesure où la connaissance des besoins en main-d'oeuvre spécialisée est acquise. Or, il n'existe aucun inventaire* systématique (et on comprend pourquoi) des besoins dans les secteurs de pointe les plus susceptibles de connaître un essor au Québec ni de structures d'accueil privées ou publiques suffisantes pour intégrer éventuellement une nouvelle main-d'oeuvre spécialisée.

Depuis la volonté affirmée du programme d'intervention, de prendre des actions décisives pour cerner et soutenir la R & D biotechnologique (v. g. p. 10), un groupe de travail sur les bioindustries réalisait un mandat consistant à clarifier le processus de transfert entre la

---

* Dans le Rapport du comité de la recherche industrielle et de l'innovation sur le Virage technologique, les membres signalaient "essentielle et urgente" l'élaboration d'un tel inventaire (cf. C.P.S.Q. mars 1983, p. 26)

recherche scientifique et les applications industrielles et à préciser les potentiels de développement des bioindustries du Québec"* (c'est nous qui soulignons).

Avec toutes les réserves que commande l'utilisation d'un document de travail, nous allons cependant résumer ici, à titre indicatif, les principaux potentiels de développement recencés et commentés par ce groupe. Précisons toutefois que ce recensement argumenté visait à éclairer l'action gouvernementale et non à fixer des priorités définitives.

Pour chacun des grands secteurs d'exploitation, foresterie, agriculture, alimentation, énergie et matières premières, santé, les produits ou procédés nouveaux y sont identifiés de même que leur intérêt économique et les agents susceptibles de les développer. De cet ensemble, il se dégage que la filière santé offre une bonne capacité de développement industriel et scientifique et que certains projets peuvent même être lancés à court terme; en exploitation forestière, dont l'intérêt réside dans l'amélioration des rendements, la production et la mise en marché de nouveaux produits (semis, plants) et l'exploitation de la biomasse, on considère que plusieurs produits et procédés ont atteint le niveau d'expérimentation-pilote; en agriculture (amélioration des rendements, diversification et production de nouveaux produits), la capacité de R. & D. est évaluée bonne mais celle des fournisseurs, limitée Les deux autres secteurs accusent un potentiel de développement limité pour l'instant, soit que l'effort industriel y est mitigé soit que la capacité technologique d'application au marché soit trop restreinte, ou les deux (v.g. Rapport du groupe de travail sur les bioindustries, annexe III).

---

* Rapport du groupe de travail interministériel sur les bioindustries, document de travail. Gouv. du Québec, 13 août 82, p. 1.

C'est donc essentiellement en vue de l'émergence de ce type d'activités bioindustrielles qui, espérons-le, prendra de l'essor, qu'il faut prévoir une main-d'oeuvre de qualité.

Les fonctions de travail dans ce volet comprennent toute la chaîne industrielle et vont de la compréhension et du développement des procédés de fabrication jusqu'à la production et à son contrôle. C'est le lieu d'exercice privilégié des sciences appliquées. Pourtant, à cause de la difficulté de segmenter en unité de fonction les apprentissages reliés aux biosciences (sciences fondamentales et appliquées) - comme on l'a constaté dans la réalité -, le personnel occupant ces fonctions pourra avoir été formé en sciences fondamentales aussi bien qu'en sciences appliquées (microbiologie industrielle, sciences de l'alimentation, génie biochimique et chimique, etc.).

Une demande précise de main-d'oeuvre formée pour ces fonctions spécifiques ne pourra venir, semble-t-il, que si le "technology push" dont parle le rapport Brossard* fonctionne, i.e. si des investissements dans la recherche fondamentale sont consentis. Si les biotechnologies intéressent tant les gouvernements, ce n'est pas parce que l'on connaît très bien les produits et les réalisations qui en sortiront et les problèmes qu'elles permettront de résoudre mais parce que l'on pressent qu'il se produit actuellement des percées importantes en biologie fondamentale, percées qui sont susceptibles d'avoir des retombées scientifiques et économiques considérables, comme le font remarquer Gros, Jacob et Royer dans Sciences de la vie et société**.

---

* Biotechnologie: un plan de développement pour le Canada: Rapport du groupe de travail sur la biotechnologie présenté au Ministres d'Etat chargé des Sciences et de la Technologie, 1981, p. V.

** Rapport présenté à M. le Président de la République, La documentation française, 1979, p. 15-16.

"Aucune action concertée ou programmée ne pouvait, à la fin des années 40, suggérer aux biochimistes de s'associer aux généticiens et aux physiciens pour constituer une Biologie moléculaire. Personne alors ne pouvait prévoir que la chimie de l'hérédité serait comprise avant celle des tendons. Avec leurs efforts gigantesques, les Américains ont confirmé qu'il est possible de planifier le développement mais pas la recherche, un voyage sur la lune mais pas le traitement du cancer. Il est raisonnable de procéder à certaines incitations dans les voies qui semblent les plus prometteuses. Mais il est indispensable de laisser une part importante à l'imprévu. Rien ne serait plus stérilisant pour la recherche que de tenter de modeler l'avenir en fonction de la connaissance présente. L'important dans la recherche, c'est l'imprévisible. C'est à l'imprévisible qu'il faut à tout instant pouvoir et savoir s'adapter."

L'impact de la demande de main-d'oeuvre bioindustrielle sur les programmes de formation s'inscrit toutefois dans un processus évolutif où l'accroissement des connaissances et des activités au niveau fondamental risque de générer des besoins de spécialistes des applications et d'utilisateurs, et où, inversement, l'accroissement de la formation de main-d'oeuvre technologique et des percées bioindustrielles risquent de susciter un intérêt croissant pour le développement de la recherche fondamentale.

## 5. LES PROGRAMMES DE FORMATION

Il est important de distinguer ici les programmes d'études avancées, tels que définis dans les annuaires et qui sont souvent des programmes cadres, de l'ensemble des activités spécifiques reliées à la formation supérieure dans un domaine donné. C'est dans ce dernier sens que le terme "programme" a été interprété dans ce rapport, cet ensemble d'activités comprenant autant les cours formels dispensés aux étudiants que les activités de recherche contribuant à la formation des étudiants dans ce domaine précis.

Il n'était pas du mandat du comité de proposer une planification pour le développement de la biotechnologie ni de recommander une structure du marché de l'emploi pour réaliser cette planification mais de se faire une image la plus précise possible du scénario de développement qui a la plus grande possibilité d'être retenue afin d'éclairer son examen des programmes et de guider ses recommandations.

Or, il appert que ce scénario de développement:

- est assez global, et encore imprécis dans le choix des créneaux,
- favorise la recherche fondamentale dans l'ensemble des biosciences qui sont en amont des biotechnologies,
- cherche à établir le pont entre ces recherches et leurs applications industrielles,
- prend pour objectif le développement des industries susceptibles de faire appel aux biotechnologies,
- et finalement, diffère les choix qui baliseront le développement des filières d'application,

que ces choix pourraient avoir un impact sur les développements disciplinaires et techniques et sur les programmes de formation, et que toutes les fonctions inhérentes aux marchés d'emplois sont difficiles à cerner et à isoler. C'est dans cet éclairage (et celui des points traités précédemment) que nous abordons ce chapitre sur les orientations du comité vis-à-vis les programmes de formation, autant dans l'évaluation de leur qualité, tel que demandé dans le mandat, que pour l'établissement de profils de formation adéquats.

## 5.1 Les programmes de formation en biosciences et en bioingénieries

D'emblée, le comité doit dire que sa réflexion l'amène à dire qu'il ne s'agit pas de créer une nouvelle discipline ni d'envisager une spécialisation dans un des domaines avant la maîtrise mais plutôt de retenir quelques profils-types ayant une spécialité dominante et une ouverture vers les domaines adjacents. C'est d'ailleurs la position prise par l'O.C.D.E. et plusieurs auteurs:

> "Il existe un besoin considérable d'accroître l'information biotechnologique au niveau de l'enseignement supérieur. Toutefois, la plupart des experts, ne ressentent pas le besoin de créer une nouvelle discipline universitaire, qui formerait uniquement des "biotechnologues", alors que le besoin ressenti est celui de compétences spécifiques dans un contexte interdisciplinaire. De toutes manières, aucune spécialisation en biotechnologie ne devrait être envisagée avant la maîtrise. Certains experts soulignèrent le danger d'éduquer superficiellement des jeunes gens dans de trop nombreuses disciplines, qui ne les rendraient guère opérationnels, alors que d'autres soulignèrent le danger de l'hyperspécialisation à une période où l'industrie n'est pas encore en mesure de prédire ses besoins futurs en diplômés biotechnologues." Tendances, op. cit., pp. 7-8).

Pélissolo reprend les mêmes idées:

"Deux extrêmes à éviter:

- une formation uniformément polyvalente, conduisant à un profil de biotechnologue connaissant un peu toutes les spécialités, mais aucune en profondeur;
- une hyper-spécialisation, cloisonnant ces spécialités." (op.cit.p.48)

"Il semble que le meilleur compromis consiste à retenir trois ou quatre profils-types, correspondant à autant de cursus, chacun d'entre eux contenant une spécialité dominante (exemple: génétique, microbiologie, enzymologie, génie biochimique), et une formation secondaire dans les techniques adjacentes; ceci afin de permettre à l'étudiant, devenu chercheur ou ingénieur, de coopérer utilement avec les spécialistes de ces techniques." (Ibid. p. 48)

Très modéré, le Livre blanc du gouvernement britannique suite au rapport Spinks précise que les besoins en biotechnologie qualifiée seront satisfaits, encore pour un certain temps, par des étudiants gradués, - possédant des bases appropriées en sciences biologiques fondamentales ou en ingénierie -, et formés par des spécialistes-chercheurs des études avancées (v.g. Biotechnology, p. 7)

Enfin, le rapport Biotechnology and Education de la Royal Society demeure le plus exhaustif dans son estimation du profil des "biotechnologues":

"Professional biotechnologists to be recognised as such, will need to have received post-graduate training based on a first degree. They will not, in general, be graduates in biotechnology, per se, but graduates of microbiology, genetics, biochemistry, biology, chemistry, biochemical engineering, food engineering, chemical engineering or mechanical, civil or control engineering. As practising biotechnologists they need to be fully conversant with the physical science principles behind process engineering: sensitive to the constraints imposed by the biological organism or system adopted, and must be numerate. Whatever route they take to a career

in biotechnology they need to have acquired at some stage in their education elements of: mathematics (numeracy); microbiology, genetics and biochemistry. In so far as these are to be acquired at university or polytechnic they will currently need to be incorporated into some biology, chemistry or engineering courses, in particular" (p. 24).

La situation actuelle au Québec ressemble à ce qui semble prévaloir ailleurs: la biotechnologie s'enseigne à l'intérieur des programmes de certaines disciplines, comme en microbiologie, en biochimie, en biologie ou en génie chimique, par exemple.

Comme on le voit, même si on distingue généralement trois zones d'activités en biotechnologie, biosciences - biotechnologies - bioindustries, on n'en conclut pas pour autant à la nécessité de trois voies de formation distinctes, dont chacune serait spécifique à un des volets. Même s'il a été utile de présenter en séquence les trois volets d'activités et leurs caractéristiques, il ne faut pas en conclure que le déroulement présente une telle linéarité, de la découverte à son utilisation industrielle.

Il ne s'agit donc pas de multiplier les programmes de formation en fonction des divers maillons de cette chaîne: on n'arriverait qu'à une hyperspécialisation improductive.

En fait le schéma généralement retenu est celui de programmes de formation orientés vers deux pôles: les biosciences et les bioingénieries. Dans chacun des cas, il s'agirait d'un premier cycle traditionnel suivi d'une spécialisation au niveau d'un programme d'études supérieures dont les activités sont orientées vers l'un ou plusieurs des aspects de la biotechnologie. Le rapport de la Royal Society va même jusqu'à recommander d'arrêter le mouvement de création de programmes de premier cycle en biotechnologie qui s'était amorcé au Royaume-Uni.

Nous avons énuméré, au point 2 de cette partie, les domaines des biosciences dont les découvertes alimentent la biotechnologie mais l'importance qui a leur été accordée ne doit pas minimiser celle des bioingénieries. Les découvertes, plus spectaculaires en biologie, notamment dans le domaine du génie génétique, ont relégué dans l'ombre cette fonction essentielle à l'application pratique des innovations biologiques. "Les ingénieurs ont réussi dans une mesure appréciable à mettre au point des procédés biologiques économiques, malgré de nombreux problèmes. Les progrès futurs de l'ingénierie auront des répercussions importantes sur les procédés de traitement biologique." (Tendances, op. cit. p. 25)

Une planification visant à doter le Québec de programmes de formation recouvrant l'ensemble des biosciences pertinentes à la biotechnologie et l'ensemble des bioingénieries nécessaires à leur mise en oeuvre industrielle peut sembler ambitieuse. Cependant, les petits pays aussi bien que les grands n'échapperont pas à ce scénario; les experts de l'O.C.D.E. incitent même les pays sous-développés à se doter de compétences locales en biotechnologie. La révolution bioindustrielle, même si elle n'est pas imminente, est assez prévisible et les lacunes à combler assez importantes pour inciter tous les pays à se doter de leur propre force de frappe en biotechnologie.

Il ne s'agit évidemment pas de viser à une autarcie scientifique et technologique où toutes les applications faites au Québec résulteraient de découvertes scientifiques faites au Québec ni à ce que les découvertes faites au Québec trouvent toutes leurs utilisations industrielles ici même. Ce qu'il faut envisager, c'est la formation de compétences qui nous permettront d'atteindre et de conserver un certain équilibre à cet égard, dans un secteur de haute compétition sur le plan international.

C'est donc dans ce contexte, qui réclame le spectre entier des compétences, qu'il faut nous préparer à mettre à profit les découvertes faites ici mais également à adapter, dans les meilleurs délais, les découvertes faites ailleurs et, le cas échéant, exporter la technologie résultant de nos découvertes.

## 5.2 La contribution de l'université au développement de la biotechnologie

Même si le mandat de réfléchir sur la formation en biotechnologie a été confié au Conseil des universités (ce qui est bien normal puisqu'il s'agit de formation mais aussi de formation intimement liée aux activités de recherche par lesquelles les institutions universitaires ont une contribution majeure à apporter), il n'en reste pas moins qu'on est en droit de se demander, dans un premier temps, s'il est pertinent de laisser aux départements universitaires concernés la responsabilité entière de la formation, dans un secteur aussi interdisciplinaire?

Les auteurs du rapport de la Royal Society, Biotechnology and Education, estiment que c'est là la meilleure solution mais que, néanmoins, la concertation interuniversitaire, qui relèverait normalement d'une saine planification, s'impose ici avec acuité.

> "We recognize the limitations in our approach, biotechnology as a new focus can easily be swamped by the central concern of an existing department, whether of chemical engineering, biochemistry, applied biology or other descriptive. Nevertheless we believe this to be the right solution and positive planning must occur within and between universities and colleges: (i) to develop interdisciplinary teaching; (ii) to ensure staffing with appropriate specialisations; (iii) to see that new staff are appointed to fill the gaps in expertise which undoubtedly exist; and (iv) most important, to ensure that at the same time basic skills of particular disciplines such as chemical engineering are adequately and rigourously imparted" (p. 26) (c'est nous qui soulignons).

Comme nous nous situons ici dans un contexte évolutif et à la fois en gestation, le comité a cru bon de s'interroger sur l'apport actuel et éventuel de l'université en ce domaine, sur le rôle qu'elle peut assumer dans ce développement et aussi sur la possibilité que d'autres intervenants puissent compléménter cet apport.

La réflexion jusqu'ici amorcée nous permet de dire que l'université peut contribuer au développement de la biotechnologie en fournissant de l'expertise et de la compétence à quatre niveaux:

- au niveau de la transmission des savoirs fondamentaux dans les disciplines des sciences fondamentales ou appliquées concernées;
- au niveau des activités de recherche, fondamentale ou appliquée, susceptibles de générer des découvertes intéressantes, autant au niveau des objets de recherche que des technologies présentant de l'intérêt dans le secteur;
- au niveau de la transposition des découvertes en produits, procédés ou réalisations ou de la collaboration avec des spécialistes d'autres disciplines, dans une démarche interdisciplinaire visant le transfert de ces découvertes;
- au niveau des aspects formation impliqués dans les deux dernières activités.

La transmission des savoirs fondamentaux contribuera à produire une main-d'oeuvre à tous les niveaux: chercheurs, ingénieurs, laborantins, technologues, techniciens. Cette transmission est indispensable et se doit d'être exhaustive et rigoureuse. Toutefois, l'université n'est pas ici le seul intervenant qui peut y contribuer. En ce qui a trait aux techniciens, les cégeps et l'industrie peuvent aussi y participer largement: un cégépien bien formé en certaines techniques et initié à un savoir-faire particulier par l'industrie qui l'embauche reste un élément non négligeable de la main-d'oeuvre requise en biotechnologie.

Cependant, une concertation s'imposerait, non seulement entre les unités universitaires mais aussi avec le niveau pré-universitaire, afin d'intégrer adéquatement l'enseignement des sciences aux deux niveaux de l'université et du cégep, dans le but non seulement de développer des spécialisations pertinentes au développement du secteur mais surtout d'assurer une dispensation adéquate, rigoureuse et intégrée des connaissances scientifiques de base dans les disciplines concernées par

la biotechnologie. Le comité ne croit pas que les cégépiens sont actuellement mal préparés au milieu de l'embauche, dans les disciplines concernées; des témoignages de l'industrie nous portent à croire le contraire. Mais il se situe ici dans la perspective d'un développement qui peut s'accélérer et croit que la concertation interuniversitaire et université/cégep ne peut qu'en garantir la qualité et l'actualité.

Le deuxième niveau de contribution de l'université se situe dans son apport en activités de recherche fondamentale et appliquée, susceptibles de générer des découvertes, que ce soit en termes de progrès des connaissances ou de nouvelles technologies. Le troisième niveau est celui de la transposition des découvertes en produits, procédés et réalisations, donc du transfert technologique. Le quatrième niveau est celui de la formation de la main-d'oeuvre requise.

Le problème que peuvent poser ces niveaux de contribution réside dans la pression que peuvent exercer l'orientation de la recherche vers la satisfaction de besoins socio- économiques et la nécessité du transfert technologique des découvertes vers l'industrie. Ce problème n'est pas spécifique à la biotechnologie: il apparaît dans toutes les technologies de pointe. Toutefois, dans l'évolution contemporaine des rapports science-société, son importance politique est plus récente et plus marquée. "Pour les années 80 paraît s'esquisser une conception de la science plus utilitaire, plus directement dirigée vers l'étude de problèmes intéressant la société, les ressources, son économie." (Sciences de la vie et société, op. cit. p. 15) Les énoncés de politique et programmes gouvernementaux cristallisent de façon privilégiée que ce qui est attendu des scientifiques est la réponse aux besoins sociaux et économiques.

Sans entrer dans les méandres que pourraient soulever les distinctions entre recherche pure/recherche appliquée, recherche libre/recherche orientée - (débat qui, aux yeux du comité, particulièrement dans le secteur de la biotechnologie, n'a plus beaucoup de pertinence), le comité croit que, dans cette problématique du juste équilibre à conserver entre la nécessité de l'enrichissement disciplinaire et la réponse à des problèmes socio-économiques ou à des problèmes de transfert, c'est à l'université et aux départements concernés que revient la responsabilité de préserver la mission de recherche et de formation de l'université et de pondérer la distribution des énergies entre tous les types de recherche. Dans un secteur à aussi haute teneur scientifique que la biotechnologie, il ne s'agit d'ailleurs pas d'un équilibre entre forces qui s'opposent. Au contraire, ce sont les progrès fondamentaux qui généreront les applications et fourniront la solution aux problèmes que l'on veut résoudre.

Bref, aux yeux du comité, la contribution de l'université pourrait s'inscrire dans une perspective d'ouverture, de concertation et de viligence, tout en respectant la spécificité de ses missions propres de transmission et de progrès des connaissances.

Ouverture aux stimulus que peut représenter l'interaction entre la réponse scientifique à des besoins socio-économiques de développement et l'approfondissement disciplinaire, ouverture aux supports que peuvent fournir l'Etat et l'industrie à la valorisation de la recherche, ouverture aux besoins d'avancement de la recherche et à l'assouplissement des programmes à une nouvelle articulation des savoirs et des curriculums.

Concertation entre le réseau collégial, l'ensemble du réseau universitaire et les instances susceptibles de fournir un support au transfert des découvertes ou à la participation de l'industrie à la formation universitaire.

Vigilence afin de s'assurer que l'accroissement des connaissances est assurée ainsi qu'une formation rigoureuse de la main-d'oeuvre.

> "Le succès final de la biotechnologie dépend des progrès des sciences fondamentales qui la sous-tendent et de l'appui que lui apportent celles-ci. Si on emprunte des raccourcis, que l'on procède de manière empirique et que l'on accorde une attention superficielle aux principes scientifiques fondamentaux, il est probable que l'on aboutira au mieux à un rendement médiocre des procédés et au pire à des échecs coûteux." (Tendances internationales..., op. cit. p. 12).

Une des spécificités inéluctables de la contribution de l'université au secteur est la nature interdisciplinaire de la biotechnologie. Interdisciplinaire, le secteur l'est parce qu'il résulte de la convergence de plusieurs disciplines scientifiques, de plusieurs biosciences. L'évolution même du corpus des connaissances d'une bioscience donnée l'amène en contact avec d'autres disciplines. Interdisciplinaire, le secteur l'est également par son aspect application des connaissances fondamentales dans le milieu industriel et commercial où le spécialiste des biosciences côtoie, entre autres, l'ingénieur qui s'occupe de la mise en oeuvre des innovations. Interdisciplinaire, le secteur l'est enfin au niveau de la personne elle-même qui désire y oeuvrer. La biotechnologie n'a pas de lieu spécifique de formation. Celui qui désire oeuvrer dans ce secteur doit se bâtir lui-même un cheminement de formation.

Ce sont là les trois plans sur lesquels se pose le problème de l'interdisciplinarité selon le rapport Michaud*: le plan de l'unité du savoir, celui de l'unité de la pratique et celui de l'unité de la personne. Nous reviendrons en partie III sur les conséquences qui découlent sur les programmes de formation de la nature interdisciplinaire de la biotechnologie.

---

* G. Michaud et al., L'interdisciplinarité, problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités, O.C.D.E., Paris, 1972.

## DÉMARCHE DU COMITÉ

### 6. DEROULEMENT DES ACTIVITES

La compréhension du mandat, assorti de la problématique qu'il sous-tend et des orientations prises, a engendré une série d'opérations qui pourraient être synthétisées de la façon suivante: l'établissement d'une bibliographie, la consultation des rapports sur la biotechnologie, l'enquête, la mise en forme des données et leur analyse, la réflexion sur la situation, la rédaction du rapport.

#### 6.1 L'enquête

En septembre 1982, avant même que ce mandat soit confié au comité, le Comité sur la biotechnologie du Conseil de la politique scientifique du Québec demandait aux différentes universités québécoises un résumé des activités de recherche et d'enseignement ainsi que la liste des ressources humaines travaillant dans le domaine de la biotechnologie. Selon son mandat d'aviseur au ministre délégué à la Science et à la Technologie, ce comité s'intéressait à la question des ressources humaines dans ce secteur de développement.

La formation du présent comité, en novembre 1982, a amené les deux instances à mettre en commun ces données et à les compléter en une opération unique auprès des universités. Les informations qui semblaient pertinentes à l'un ou l'autre des deux comités pour remplir leur mandat respectif formaient une grille qui a été expédiée aux vice-recteurs à l'enseignement et la recherche, le 15 décembre 1982. Nous reproduisons ici cette grille, bien que l'on trouvera en annexe 2 la lettre intégrale qui a été expédiée.

1) La place de la biotechnologie dans les priorités de l'université.

- Axes privilégiés;
- spécificité de la couverture du domaine;
- appui institutionnel au domaine, etc.

2) Les programmes de premier cycle pouvant mener à des études supérieures dans un des domaines de la biotechnologie.

- Enumération des programmes, options ou concentrations;
- Enumération des cours comportant des éléments importants spécifiques à la biotechonologie, etc.

3) Les programmes d'études supérieures en biotechnologie.

On retrouve ici, comme dans bien d'autres secteurs, la nécessité de distinguer entre les programmes d'études supérieures, tels que définis dans les annuaires et qui sont souvent des programmes cadres d'une part et, d'autre part, l'ensemble des activités spécifiques reliées à la formation des chercheurs dans un domaine donné. C'est dans ce dernier sens que le mot programme sera utilisé sous la présente rubrique. Ces programmes ne conduisent généralement pas à un diplôme spécifique mais au diplôme du programme cadre. Ils peuvent avoir ou non des exigences spécifiques en terme de règlements pédagogiques ou de cours. Ils peuvent avoir ou non une structure spécifique de programme.

Ce que l'on cherche à identifier ici, ce sont les groupes de chercheurs en biotechnologie, à l'intérieur desquels des étudiants reçoivent leur formation aux études supérieures.

Sous cette rubrique, on fera donc état:

a) des structures spécifiques à la biotechnologie s'il en existe: comité de programme interdépartemental et sa composition, séminaire interdisciplinaire, etc.;
b) du domaine spécifique de la biotechnologie couvert par chacun des programmes où l'on en fait;
c) des exigences particulières de chacun des programmes spécifiques (période de qualification, etc.);
d) des cours avancés en biotechnologie;
e) du nombre d'étudiants inscrits dans chacun de ces programmes à chaque année depuis cinq ans à la maîtrise et au doctorat;
f) du nombre de diplômés pour chacune de ces années;
g) des titres des mémoires et des thèses;
h) de l'implication de l'industrie dans la formation (stages, postes, bourses, échange de personnel, etc.).

4) Les groupes de recherche en biotechnologie.

Pour chacun des groupes, il y aurait lieu de donner les renseignements suivants:

a) domaine spécifique de recherche en biotechnologie et description générale des travaux. Il sera utile de compléter cette description en choisissant un mot-clé dans chacune des quatre listes suivantes:

| ORGANISMES | DOMAINES D'APPLICATIONS |
|---|---|
| virus des animaux et des végétaux et bactériophages | santé |
| bactéries | agriculture |
| actinomycètes | foresterie |
| levures | agro-alimentaire |
| champignons saprophytes | énergie |
| champignons symbiotiques | mines |
| algues | industrie chimique |
| cellules végétales | traitement des déchets et des eaux usées |
| cellules animales | |

| TECHNIQUES | REALISATIONS ENVISAGEES |
|---|---|
| génie génétique | produits biologiques ou pharmaceutiques |
| systèmes enzymatiques | produits chimiques |
| technologies des fermentations | utilisation de la biomasse à des fins énergétiques |
| génie biochimique | biotraitement des pollutions |
| procédés d'extraction et de purification | renouvellement de certaines techniques agricoles et horticoles |
| sélection de souches | production de protéines d'organismes monocellulaires |
| culture et fusion des cellules | lixiviation des minéraux |

Les trois dernières listes ont été tirées partiellement de A l'heure des biotechnologies . Si ces listes apparaissent incomplètes, on l'indiquera et on complètera;

b) réalisations principales. Toute découverte, application, percée ou invention illustrant la force et le potentiel du groupe en biotechnologie;
c) perspectives de recherches futures et applications envisagées par le groupe et période probable de réalisation (d'ici 5 ans, 10 ans, etc.);
d) noms des chercheurs en indiquant leur spécialité et la fraction du temps de recherche consacré par chacun à ce domaine;
e) autres personnels et fraction du temps consacré par chacun à ce domaine (personnel de soutien, techniciens, personnel temporaire);
f) subventions obtenues pour les recherches du groupe dans le domaine indiqué en 4 a), en remontant, s'il y a lieu, jusqu'à cinq ans, et origine des subventions y compris les subventions internes;
g) équipements importants disponibles;
h) liste des publications dans des revues avec jury de lecture et brevets du groupe dans le domaine indiqué en 4 a) depuis cinq ans;
i) collaborations avec les chercheurs d'autres groupes de la même institution ou d'ailleurs dans le domaine indiqué en 4 a);
j) recherche et développement conjoints avec l'industrie.

5) Organisme central spécifique

On indiquera s'il existe un organisme de coordination, d'animation et / ou de planification des activités en biotechnologie à l'échelle de l'institution et on donnera une description de cet organisme.

Les universités étaient invitées à compléter, le cas échéant, le premier document soumis au CPSQ à l'automne et à le remettre aux comités lors d'une visite prévue en début d'année 1983.

Depuis la fin janvier jusqu'à la mi-février, des visites ont été effectuées dans les universités par le groupe de travail conjoint des deux comités, à raison de 2 à 3 heures par université, exception faite de l'Institut Armand-Frappier que la direction de l'université du Québec suggéra de considérer à part et des autres constituantes qui, par contre, ont été rencontrées simultanément. L'objectif supplémentaire de cette visite était de permettre des éclaicissements de part et d'autre sur les activités des universités et les objectifs de cette enquête.

Généralement parlant, les documents définitifs soumis aux comités par les universités leur sont parvenus entre la fin février et la fin avril. Dès le 1er mai, la cueillette d'informations a été considérée close par le comité du Conseil des universités - pour permettre la mise en forme et l'analyse des données - à l'exception de demandes de clarifications sur les données existantes qui ont pu être effectuées ultérieurement via les responsables des institutions désignées par le vice-rectorat.

C'est donc sur la foi de ces documents, dont les données avaient été sanctionnées par le vice-rectorat de chacune des universités, que le Comité sur la formation en biotechnologie du Conseil des universités a procédé à son analyse.

## 6.2 Etablissement d'une bibliographie et consultation des documents pertinents sur la biotechnologie.

Parallèlement à l'enquête, le comité établissait une bibliographie assez exhaustive sur la question et consultait les grands rapports et les programmes d'intervention; l'objectif était de voir quels étaient les consensus nationaux et internationaux qui se dégageaient de ces lectures et en quoi l'examen des problèmes posés par ce secteur éclairait la réflexion du comité. Cette cueillette d'informations sur la littérature pertinente se faisait simultanément avec celle des données; ces deux opérations ont permis au comité de dégager une problématique susceptible de guider son analyse et de nourrir sa réflexion sur les moyens qui devaient étayer ses recommandations.

## 6.3 Mise en forme des données

L'inconvénient de la grille d'enquête a été de ne pas offrir aux universités un format uniforme de réponses. La présentation des données, par les universités, a donc été caractérisée par l'hétérogénéité et , malgré la clarté des questions, par l'inégalité des informations fournies, autant en termes de quantité qu'en termes de précision. Ces difficultés sont toutefois inhérentes, en partie du moins, à la nature d'un secteur qui implique de nombreux départements et facultés, de nombreux établissements, dont les activités sont par ailleurs reliées de façon très différente à la biotechnologie.

Afin de pouvoir traiter équitablement ces données, il a fallu que le comité procède à une longue et fastidieuse démarche de mise en forme sur des fiches-synthèse uniformes. Il a pu ainsi passer à l'analyse du potentiel de formation à partir de données comparables.

6.4 Analyse des données et réflexion sur la situation.

Les termes du mandat du ministre sont une demande «d'avis sur la qualité des programmes et de l'enseignement dans les biosciences... et dans les sciences appliquées...» Le comité a donc dû se pencher également sur la portée à conférer à cette évaluation de «qualité».

Au sens strict du terme, une évaluation de qualité de programmes d'enseignement signifie une opération d'envergure où tous les aspects de la question sont analysés: structure des programmes, objectifs des contenus, qualification du personnel enseignant, fréquentation, nombre de diplômés, conditions d'admission, durée, système de crédits, débouchés sur le marché de l'emploi, prévision de besoins, etc. Il n'y a qu'à observer l'étude sectorielle en cours, au Conseil des universités, dans toutes les spécialités du génie, pour se rendre compte à la fois de l'ampleur d'une telle étude, des ressources qu'elle mobilise et du temps qu'elle nécessite.

En biotechnologie, il suffit d'évoquer, à vue de nez, toutes les activités facultaires et / ou disciplinaires qui pourraient être impliquées - médecine, agriculture, sciences biologiques, chimie, biochimie, microbiologie, génie (bio) chimique,etc. - pour réaliser qu'une évaluation de qualité au sens strict du terme ne pouvait être réalisée par le comité ad hoc dans les délais qui lui étaient impartis et avec les ressources dont il disposait. Il lui a donc fallu écarter une approche aussi complexe et aussi longue - comme non circonstanciée - et en adopter une plus simple et plus pragmatique lui permettant, à tout le moins, une évaluation sommaire de la situation.

L'approche adoptée dans l'examen de la qualité des programmes repose donc sur quatre points d'observation utilisés de façon pondérée selon les niveaux d'analyse:

- la pertinence des activités de recherche ou d'enseignement, eu égard aux champs couverts par la biotechnologie - tels qu'ils ont été circonscrits précédemment;

- la masse critique reliée à ces activités en termes de taille des équipes, de stature des chercheurs (séniors ou non), de publications parues, de moyenne de subventions obtenues, de réalisations antérieures et d'étudiants inscrits aux programmes de recherche et enfin de convergence des thèses en cours;

- la productivité reliée aux chercheurs et / ou aux équipes qui, reprenant des facteurs du point précédent (subventions obtenues, publications parues, étudiants inscrits), en compte d'autres dans une perspective plus historique ( étudiants diplômés, collaborations extra-muros développées ) ou dans une perspective d'application éventuelle (liens créés avec l'industrie);

- l'adéquation des activités - vue sur l'ensemble du réseau - en termes de champs spécifiques couverts.

Est-il nécessaire d'ajouter que le substrat premier de cet examen a été celui de l'atteinte de l'excellence, substrat motivant au premier chef une telle démarche.

Le comité tient à préciser maintenant que sa démarche d'analyse ne s'est pas effectuée dans l'optique d'une compilation comptable de ces indices d'excellence mais plutôt dans celle de leur utilisation pondérée, tel que l'exigeait l'hétérogénéité des situations observées.

La nécessité de cette attitude relève à la fois du réalisme et de l'équité. En effet, pour ce qui est du facteur de pertinence, la nouveauté du secteur a contraint le comité à ne pas le considérer comme un secteur «fini», c'est-à-dire délimité de façon absolue, sans ouverture à de nouveaux champs, de nouvelles techniques. En ce qui a trait à ceux de masse critique et de productivité, il est plus aisé de les appliquer de façon stricte aux universités plus anciennes et plus imposantes par leur taille qu'à celles qui sont de creation plus récente ou, autrement, de plus petite taille, pour ne citer que ces exemples.

Ces premières nuances énoncées, le comité reste toutefois convaincu qu'en général, la poursuite de l'excellence, la continuité et la solidité des recherches restent tributaires de la présence des facteurs de masse critique et de productivité, facteurs indispensables à un développement scientifique indéniable.

Le mandat comporte toutefois un a priori quand il demande de se pencher «sur les moyens d'élever cette qualité»: on semble considérer au départ que cette «qualité» est insuffisante - à tort ou à raison. On verra plus loin si cet a priori mérite d'être généralisé ou non.

Une analyse de données a donc été effectuée, université par université, comme en fait foi la partie II du présent rapport en ce qui concerne les unités de recherche et de formation.

Puis, le comité a poursuivi sa réflexion sur les moyens de développer une stratégie de couverture du secteur et de développement concerté et complémentaire dans le cadre des «moyens» à mettre en oeuvre pour «élever cette qualité» et les moyens de favoriser des cheminements d'études (profils) adéquats aux buts visés.

Ensuite, le comité a procédé à une synthèse des résultats d'ensemble sur les programmes de recherche en dégageant les points forts et les points faibles, les lacunes en termes de biosciences, techniques et filières d'application, sur la consolidation et la distribution des activités pour l'ensemble des universités.

# PARTIE II

## ANALYSE DES DONNEES

# PARTIE II

## ANALYSE DES DONNEES

### INTRODUCTION

L'analyse que nous allons maintenant présenter, université par université, des résultats de l'enquête montrera, à la simple lecture, l'hétérogénéité et l'inégalité des informations fournies par les différents établissements. Elle révélera également des caractéristiques de structure, de tradition et d'organisation de l'enseignement et de la recherche, et une différence dans le style de planification des établissements. Nous le savons, le réseau universitaire québécois n'est pas homogène - comme ailleurs - et la "personnalité" propre de chaque université apparaîtra ici comme elle serait apparue aussi dans toute autre étude horizontale.

L'ordre de présentation des institutions n'a aucune signification particulière: il ne reflète que l'ordre dans lequel les universités ont complété leur dossier de présentation.

Dans chaque cas, l'analyse se fera en quatre temps:

1. La description synthétique des données telles que fournies par le vice-rectorat, transcrivant quelquefois les mots mêmes utilisés par les répondants. Il s'agit donc là d'une synthèse du texte de présentation de l'université par elle-même, du discours qu'elle tient sur elle-même.

2. Le portrait des tendances constitue le deuxième temps. En nous servant des informations fournies, nous avons essayé de dégager un portrait, le plus comparable possible d'une université à l'autre, plus quantitatif que qualitatif, des tendances qui se dégagent du dossier soumis. En autant que les informations disponibles nous le permettaient, et en autant que les activités s'y prêtaient, des

compilations statistiques des différentes variables (domaines, techniques, filières, produits, subventions, etc.), en tableau simple ou croisé, ont été réalisées afin d'identifier, pour chacune d'elles, où sont concentrées les énergies et les ressources déclarées pertinentes au secteur par l'université.

3. Le troisième temps enfin, l'analyse du potentiel de recherche et de formation aux études avancées, est une démarche à caractère plus qualitatif. A travers un examen des projets de toutes les unités présentées, nous tentons d'y cerner l'ampleur et la qualité des travaux, leur pertinence biotechnologique, la taille et la solidité des équipes, leur ouverture interdisciplinaire, les collaborations qu'elles pratiquent, les liens qu'elles entretiennent avec l'industrie, les nombres d'étudiants en formation qui leur sont associés, bref les lignes de force que présente chaque université, susceptibles de contribuer au développement de la biotechnologie.

4. En conclusion, le comité amorce une réflexion, (que chaque établissement devra évidemment poursuivre), sur l'évolution souhaitable de la situation et fait, le cas échéant, des suggestions aux universités concernées.

PARTIE II

## 1. UNIVERSITE DE MONTREAL

### 1.1 DESCRIPTION SYNTHETIQUE DES DONNEES

L'université de Montréal a présenté au Comité sur la formation en biotechnologie du Conseil des universités un important dossier décrivant:

A. les priorités de l'université en biotechnologie;
B. les programmes et cours du 1er cycle à pertinence biotechnologique;
C. les programmes d'études supérieures à incidence biotechnologique et leurs orientations;
D. la fréquentation étudiante et les grades obtenus;
E. les groupes de recherche en biotechnologie;
F. l'organisme central spécifique pour la biotechnologie.

#### Les priorités de l'université en biotechnologie

L'université s'est donné pour objectifs:

- de stimuler l'enseignement pertinent aux techniques des biotechnologies dans le cadre de ses programmes existants;

- d'apporter une attention spéciale au développement du génie génétique, de la culture des cellules et des anticorps monoclonaux, et aux technologies des fermentations;

- de ne créer de nouveaux cours que là où le besoin le justifie;

- pour ce qui est du 1er cycle: de créer un comité interfacultaire dans le but d'examiner la pertinence d'organiser des cours spécifiques;

- pour ce qui est des 2e et 3e cycles: de stimuler la recherche et la formation en Biochimie, en Sciences biologiques et Microbiologie-Immunologie, en Génie chimique, en Sciences cliniques et en Pathologie;

- de fournir un appui institutionnel aux équipes de génie génétique, de culture des cellules et d'anticorps monoclonaux, de fermentations, en cours ou en émergence, qu'ils fassent de la recherche fondamentale ou appliquée et ce, par les moyens suivants:
  - stages courts dans d'autres universités,
  - fonds de démarrage aux chercheurs,
  - appui financier pour moderniser les équipements,
  - appui financier aux colloques et séminaires sur les questions touchant les biotechnologies.

Les programmes et cours de 1er cycle à pertinence biotechnologique

L'université de Montréal pointe, en effet, dans son document de présentation, les cours qu'elle juge pertinents:

"Dans la sélection des cours de premier cycle comportant des éléments spécifiques à la biotechnologie, il a été considéré que les programmes de Biochimie et de l'option Microbiologie correspondent chacun à des pré-requis essentiels pour toute spécialisation ultérieure en biotechnologie. Aussi, les cours spécifiques à ces programmes ont-ils été retenus, à l'exclusion de quelques-uns très spécialisés dans des domaines sans application pratique évidente".

"De façon à couvrir d'autres domaines pertinents à la biotechnologie mais peu abordés dans ces formations de base, des cours des programmes de Sciences biologiques, de Chimie, de Génie chimique et de Nutrition ont été adjoints. Ces cours concernent en particulier:

- les bases de chimie organique indispensables aux biologistes;
- les méthodes d'extraction, de purification et d'identification des produits naturels;
- la physiologie et la génétique des cellules et des organismes animaux et végétaux;
- le génie biochimique;
- le génie agro-alimentaire." (cf. document U. de M., p. B-3)

On trouvera en Appendice A du présent exposé la liste de ces cours pour tous les programmes mentionnés ci-haut.

Les programmes d'études avancées à incidence biotechnologique

Au moment de la cueillette des données, l'université de Montréal prévoyait s'interroger davantage sur la structure des programmes reliés aux biotechnologies. En effet:

"Le comité du vice-recteur pour la biotechnologie étudie présentement la création d'un comité de programme interdisciplinaire pour les biotechnologies. La tâche de ce comité visera à améliorer la pertinence biotechnologique des actuels programmes, ainsi qu'à donner une meilleure préparation pratique aux étudiants (stages, etc). Ces objectifs seront discutés avec des représentants des facultés, départements et instituts impliqués dans ce programme." (cf. document U. de M., p. C-2)

Cette université estime actuellement pertinents les six programmes suivants dont elle cerne les orientations intéressant les biotechnologies; ils mènent tous à l'obtention des grades de la maîtrise et du doctorat; ce sont:

- Biochimie: enzymes, fusion cellulaire, anticorps monoclonaux, génie génétique;

- Microbiologie-Immunologie: enzymes, fusion cellulaire et anticorps monoclonaux, génie génétique, génie des procédés, procédés de purification;
- Sciences biologiques: culture de cellules végétales, génie génétique;
- Sciences cliniques: génie génétique, culture de cellules;
- Pathologie: culture de cellules;
- Génie chimique: génie des procédés.

La gamme des cours qui correspond à ces orientations a été mise en valeur par l'institution. Nous en faisons ici état:

| | |
|---|---|
| . Acides nucléiques et biosynthèse des protéines | BCM 6020 |
| . Techniques biochimiques | BCM 6030 |
| . Bactériologie générale | MCB 6010 |
| . Techniques en bactériologie expérimentale | MCB 6011 |
| . Virologie et techniques virologiques | MCB 6040 |
| . Immunologie fondamentale | MCB 6031 |
| . Immunologie expérimentale<br>Cultures de cellules, fusions cellulaires, anticorps monoclonaux... | MCB 6033 |
| . Génétique des bactéries et des virus | MCB 6080 |
| . Introduction au clonage génique | MCB 6081 |
| . Microscopie électronique | BIO 6020 |
| . Méthodes analytiques en biologie | BIO 6030 |
| . Techniques de biologie moléculaire | BIO 6100 |
| . Génétique des plantes à fleurs | BIO 6220 |
| . Génétique des micro-organismes | BIO 6240 |
| . Endocrinologie avancée | BIO 6680 |
| . Endocrinologie: hormones stéroïdes | SMC 6021 |
| . Endocrinologie: hormones protéiques | SMC 6022 |
| . Acquisitions récentes en biologie cellulaire | SMC 6041 |
| . Génétique médicale | SMC 6060 |
| . Méthodologie et techniques de pathologie<br>Culture de tissus, fractionnement cellulaire, microscopie électronique... | MMD 6601 |
| . Etude des produits naturels<br>Méthodes de dépistage et d'extraction. Molécules d'intérêt biologique. | PHM 7010 |
| . Techniques pharmacologiques I | PHL 6020 |
| . Techniques pharmacologiques II | PHL 6072 |
| . Microbiologie (Ecole polytechnique)<br>Procédés biologiques d'épuration... | 1.625 |
| . Epuration biologique des eaux usées (Ecole polytechnique) | 1.6274 |
| . Conception d'ouvrages d'épuration des eaux (Ecole polytechnique) | 1.676 |

Fréquentation étudiante et grades obtenus depuis 5 ans

L'université de Montréal fait état, dans les documents remis au comité, de la fréquentation étudiante dans les programmes considérés par elle pertinents aux biotechnologies et des diplômés issus des mêmes programmes. Le Tableau 1 relate ces informations:

TABLEAU 1

NOMBRE D'ETUDIANTS INSCRITS ET DIPLOMES DEPUIS 5 ANS AUX PROGRAMMES D'ETUDES AVANCEES CONCERNEES

| Programmes | Nombre d'étudiants inscrits 78-79 | 79-80 | 80-81 | 81-82 | 82-83 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Biochimie | 9 | 9 | 9 | 7 | 14 | 48 |
| Micro./Imm. | 28 | 20 | 13 | 25 | 21 | 107 |
| Sc. biologiques | 7 | 4 | 1 | 5 | 11 | 28 |
| Sc. cliniques | 10 | 14 | 12 | 17 | 19 | 72 |
| Pathologie | 2 | 1 | 1 | - | ND | 4 |
| Génie chimique | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 9 |
| Total | 57 | 49 | 37 | 55 | 70 | 268 |

| Programmes | Nombre d'étudiants diplômés 78-79 | 79-80 | 80-81 | 81-82 | 82-83 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Biochimie | 2 | - | 3 | 3 | 4 | 12 |
| Micro./Imm. | 10 | 8 | 2 | 8 | 4 | 32 |
| Sc. biologiques | 4 | 4 | - | 1 | ND | 9 |
| Sc. cliniques | - | - | 1 | 3 | - | 4 |
| Pathologie | 1 | - | 1 | - | ND | 2 |
| Génie chimique | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| Total | 18 | 13 | 8 | 16 | 9 | 64 |

Les unités de recherche

L'inventaire des travaux de recherche en biotechnologie soumis par l'université de Montréal et ses instituts et écoles affiliés, est présenté par groupes d'unités classés selon l'activité ou, plus précisément dans ce cas-ci, par technique d'approche, à savoir quatre des techniques particulièrement pertinentes aux biotechnologies:

- le génie génétique
- la technologie de la fusion cellulaire et des anticorps monoclonaux
- la culture de cellules (animales et végétales)
- le génie des procédés.

Le Tableau 2 retrace cet inventaire par technique, par faculté et département, et par unité (voir page suivante).

Ainsi, dans 29 unités de recherche, 30 chercheurs développent 39 projets - dont on fera état plus loin - concentrés dans le développement de quatre techniques, et qui sont reliés aux activités de huit départements, école, instituts différents, affiliés à trois facultés.

Dans un souci de rigueur, l'université de Montréal a également présenté l'inventaire des équipes de recherche selon les prévisions d'applications: on constate qu'elle se réfère ici à une définition stricte des biotechnologies:

a) projets visant une application industrielle, agricole ou biomédicale immédiate;
b) projets visant une application industrielle, agricole ou biomédicale possible;
c) projets biomédicaux et fondamentaux basés sur l'utilisation des techniques propres à la biotechnologie.

TABLEAU 2

LES GROUPES DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE

| Activités | Unités | Facultés | Département | Chercheur principal | No. total chercheurs |
|---|---|---|---|---|---|
| Génie génétique | 1 | Médecine | Biochimie | Boileau | 1 |
| | 2 | Médecine | Biochimie | Cedergren | 1 |
| | 3 | Médecine | Biochimie | Karskawysocky | 1 |
| | 4 | Médecine | Microb-Immunol. et ICRPP * | Desrochers | 1 |
| | 5 | Médecine | Microb-Immunol. | Sasarman | 1 |
| | 6 | Médecine | Microb-Immunol. et I.A.F. | Vézina | 1 |
| | 7 | Arts + Sc | Sc. biologiques | Chung | 1 |
| | 8 | Médecine | Inst. cancer[1] | Bradley | 1 |
| | 9 | Médecine | Inst. cancer[2] | Kessous-Elbaz | 1 |
| | 10 | Médecine | Inst. cancer[1] | Royal | 1 |
| | 11 | Médecine | Inst. cancer[1] | Skup | 1 |
| | 12 | Médecine | Inst. recherches cliniques[3] | Jolicoeur | 1 |
| Fusion cellulaire et anticorps monoclonaux | 13 | Médecine | Biochimie | Crine | 1 |
| | 14 | Médecine | Biochimie | Le Grimellec | 1 |
| | 15 | Médecine | Microb-Immunol. | Forget | 1 |
| | 16 | Médecine | Microb-Immunol. | Montplaisir | 1 |
| | 17 | Médecine | Microb-Immunol. | Viens | 1 |
| | 18 | Médecine | Inst. recherches cliniques | Marcel | 1 |
| | 19 | Médecine | Inst. recherches cliniques | Milne | 1 |
| Culture de cellules | 20 | Arts + Sc | Sc. biologiques | Phan | 1 |
| | 21 | Médecine | Pathologie | Jasmin | 1 |
| | 22 | Médecine | Inst. cancer[1] | Bibor-Hardy | 1 |
| | 23 | Médecine | Inst. cancer[4] | Morais | 1 |
| | 24 | Médecine | Inst. cancer[1] | Raymond | 1 |
| | 25 | Médecine | Inst. cancer[1] | Simard | 1 |
| | 26 | Médecine | Inst. cancer[1] | Hyo-Ja Suh | 1 |
| | 27 | Arts + Sc | Inst. botanique | Vieth | 1 |
| Génie des procédés | 28 | Polytechnique | Génie chimique | Bataille | 1 |
| | 29 | Polytechnique | Génie chimique | Mayer et Rouleau | 2 |
| TOTAL | 29 | | | | 30 |

* Institut canadien de recherche sur les pâtes et papiers.

1 Et département de Médecine.

2 Et département de Pathologie.

3 Et département de Microbiologie-Immunologie.

4 Et département de Biochimie.

Selon l'université, la pertinence biotechnologique des projets classés en a) et b) est évidente. Si l'on y retrouve aussi les projets de la catégorie c) c'est qu'ils peuvent jouer à plus d'un titre, un rôle dans le développement des biotechnologies:

- ils permettent un éclairage approfondi sur un sujet et ses applications éventuelles;
- ils contribuent au développement des techniques spécifiques à la biotechnologie;
- ils contribuent à former des compétences en biotechnologie - un des objectifs fondamentaux de l'université.

Le Tableau 3 (page suivante) relate la distribution des unités de recherche, vue précisément sous l'angle de leur orientation vers des applications immédiates, possibles ou bien fondamentale, utilisant des techniques propres à la biotechnologie.

Les projets de recherche sur lesquels travaillent ces équipes ainsi que les autres données seront mentionnées et/ou utilisées tout au long des analyses qui seront effectuées aux points 1.2 et 1.3.

Quant à l'équipement des unités de recherche situées sur le campus, l'université le considère précaire, compte tenu de l'incapacité qu'elle a, depuis plusieurs années, d'allouer des fonds pour son remplacement. La solution réaliste qu'elle propose est de faire appel à une subvention d'urgence.

TABLEAU 3

RÉPARTITION DES PROJETS SELON LEUR ORIENTATION VERS DES APPLICATIONS OU NON ET SELON L'APPROCHE TECHNIQUE

| Orientation du/des projets | Technique | Département/ (faculté) | Chercheur principal | No de projets |
|---|---|---|---|---|
| Projets visant une application industrielle, agricole ou biomédicale immédiate | Génie génétique | Microb-Imm. (méd) | Desrochers | 2 |
| | Génie génétique | Microb-Imm. (méd) | Vézina | 1 |
| | Génie génétique | Biochimie (méd) | Cedergren | 1 |
| | Génie génétique | Sc. biol.(sciences) | Chung | 1 |
| | Cult. de cell. | Inst. cancer (méd) | Simard[1] | 1 |
| | Cult. de cell. | Sc. biol.(sciences) | Phan | 1 |
| | Cult. de cell. | Inst. bot.(sciences) | Vieth[1] | 1 |
| | Génie des proc. | Génie chim. (Poly) | Bataille | 2 |
| | Génie des proc. | Génie chim. (Poly) | Mayer/Rouleau | 3 |
| Projets ayant une application industrielle, agricole ou biomédicale possible | Génie génétique | Microb-Imm. (méd) | Sasarman | 1 |
| | Génie génétique | Inst. cancer (méd) | Skup | 2 |
| | Fusion cell. et ant. monocl. | Microb-Imm. (méd) | Viens | 1 |
| | " " | Microb-Imm. (méd) | Montplaisir | 1 |
| | " " | Inst. rech. clin. (méd) | Marcel/Milne[2] | 1 |
| | " " | Biochimie (méd) | Crine | 1 |
| | Cult. de cell. | Inst. cancer (méd) | Suh | 1 |
| Projets biomédicaux et fondamentaux utilisant les techniques propres à la biotechnologie | Génie génétique | Microb-Imm. (méd) | Sasarman | 1 |
| | Génie génétique | Inst. cancer (méd) | Royal[1] | 1 |
| | Génie génétique | Inst. cancer (méd) | Kessous[1] | 1 |
| | Génie génétique | Inst. cancer (méd) | Bradley | 1 |
| | Génie génétique | Biochimie (méd) | Boileau | 1 |
| | Fusion cell. et ant. monocl. | Microb-Imm. (méd) | Forget | 1 |
| | " " | Inst. cancer (méd) | Raymond | 1 |
| | " " | Biochimie (méd) | Le Grimellec | 1 |
| | Cult. de cell. | Inst. cancer (méd) | Bibor-Hardy | 1 |
| | Cult. de cell. | Inst. cancer (méd) | Morcis | 2 |
| 3 | 4 | 7[1] | 28[1] | 32 |

1 Huit projets n'ont pas été classés par l'université, pour les chercheurs identifiés par la note 1 et pour trois autres chercheurs: B. Karskawysocky et MM. Jasmin et Jolicoeur pour lesquels aucune donnée n'a été fournie. Cela explique aussi un nombre différent de quantité de projets et de départements impliqués.

2 Ces deux chercheurs ont été regroupés en une seule unité, leur projet respectif étant identique.

L'organisme central spécifique pour la biotechnologie

Le développement de la biotechnologie est coordonné par deux comités, dont les rôles sont différents (et qui peut rassembler les mêmes personnes):

- un comité ad hoc, composé de cinq membres, chargé de conseiller le vice-recteur à la recherche dans l'élaboration de la politique de l'université concernant le développement de la biotechnologie dans cette institution;
- un comité d'initiative pour les biotechnologies (créé au début de 1982) composé de professeurs et de chercheurs intéressés, dont la tâche a été de préparer l'inventaire (qui fait l'objet du document soumis) et un colloque au mois de mars 1983, dont les objectifs futurs sont d'accroître la collaboration entre chercheurs en organisant des séminaires interdépartementaux, pour ne citer que cet exemple.

Commentaires

De façon prudente, l'université de Montréal envisage de centrer son développement en biotechnologie sur quatre techniques de pointe, en appuyant les équipes de chercheurs qui oeuvrent dans ces domaines, et de déployer des efforts spécifiques de formation à même les programmes actuels qu'elle considère être soit les pré-requis essentiels à toute spécialisation ultérieure en biotechnologies, soit les lieux mêmes de formation adéquate à cause des recherches qui s'y réalisent. Elle indique d'ailleurs pour tous ces programmes les orientations qu'ils ont prises et qu'elle privilégie. Son interrogation sur la pertinence de structurer davantage le développement dans cette direction se poursuit: deux comités sont chargés de la conseiller à cet égard.

La présentation de ses unités de recherche rejoint de façon cohérente les priorités qu'elle s'est données: les équipes sont regroupées sous les quatre techniques privilégiées. Mais s'agit-il, à proprement parler, d'équipes? Une caractéristique très particulière

de cette université réside dans le fait que, sauf dans un cas, les chercheurs travaillent tous de façon isolée, bien que d'autres chercheurs soient mentionnés au chapitre des collaborations suscitées. On ne peut donc à proprement parler ici "d'équipes", d'"interdisciplinarité", notions qui impliquent un groupe de personnes, unies dans une tâche commune, et de formations différentes.

Toutefois, beaucoup de rigueur a présidé à cet inventaire effectué par l'institution, qui a été la seule à ordonner la présentation de ses projets selon leur orientation plus ou moins évidente vers des applications industrielles, biomédicales ou agricoles.

Le portrait des tendances qui suit vise à donner une image plus nette des lignes de force de la recherche en biotechnologie de cette institution.

## 1.2 LE PORTRAIT DES TENDANCES

Le portrait que l'on tracera sous cette rubrique vise à dégager les tendances de la recherche en biotechnologie de cette institution et ce, à partir de la mise en relation d'un certain nombre d'informations fournies par l'université elle-même dans les documents qu'elle a soumis au comité lors de l'enquête. Plus précisément, ce portrait mettra en relief des données sur les filiations facultaires et départementales des projets, sur les techniques qui y sont développées et les filières explorées et enfin, sur les fonds investis rattachés aux équipes qui oeuvrent dans ces projets. Il s'agit donc ici d'esquisser des tendances à partir d'une démarche à caractère plutôt quantitatif que qualitatif, ce dernier aspect étant traité au point 1.3 de la présente analyse.

### Les domaines de recherche en biotechnologie

On observera tout d'abord, à l'aide du Tableau synthèse 4, la répartition quantitative des unités de recherche et du nombre de chercheurs selon les facultés et les départements auxquels ceux-ci sont rattachés. L'objectif est de connaître où sont concentrés les efforts de recherche.

La lecture de ce tableau nous apprend que c'est en faculté de médecine que la plus grande partie des ressources oeuvrant en biotechnologie est située (80%), particulièrement à l'Institut du cancer (30%), en Microbiologie-Immunologie (20%) et en Biochimie (16,7%). L'apport de l'Institut de recherches cliniques n'est pas non plus négligeable puisque le pourcentage de ses effectifs est égal à celui des deux autres faculté ou école. Bref, on ne peut que constater une concentration certaine des recherches dans les départements et instituts à vocation médicale au premier chef, puis le dispersement de quelques autres projets dans des départements du secteur non-médical où les chercheurs sont particulièrement isolés, en Arts et sciences surtout.

TABLEAU 4

REPARTITION DES UNITES ET DES CHERCHEURS SELON LES FACULTES (OU ECOLE)

| Faculté | Département | no. unités | % | Regr. % | no. chercheurs | % | Regr. % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MEDECINE | Biochimie | 5 | 17,3 | 82,8 | 5 | 16,7 | 80,0 |
| | Microb.Immunol. | 6 | 20,7 | | 6 | 20,0 | |
| | Pathologie | 1 | 3,4 | | 1 | 3,3 | |
| | Institut du cancer | 9 | 31,0 | | 9 | 30,0 | |
| | Inst.rech.cliniques | 3 | 10,4 | | 3 | 10,0 | |
| ARTS ET SCIENCES | Sc. biologiques | 2 | 6,9 | 10,3 | 2 | 6,7 | 10,0 |
| | Inst. botanique | 1 | 3,4 | | 1 | 3,3 | |
| POLYTECHNIQUE | Génie chimique | 2 | 6,9 | 6,9 | 3 | 10,0 | 10,0 |
| 3 FACULTES | 8 départements | 29 | 100% | 100% | 30 | 100% | 100% |

## Les filières d'application

Plusieurs filières d'application peuvent être mentionnées pour un même projet et tous les projets s'inscrivaient dans de telles filières, à l'exception des unités de monsieur Jolicoeur et de monsieur Jasmin, pour lesquelles le comité ne disposait d'autres données qu'un nom assorti de la mention "à venir" pour le reste des renseignements. Ici et pour la suite de ce portrait, ces deux unités seront donc écartées.

Un relevé a été fait de ces mentions et leur fréquence d'apparition a été classée, en ordre d'importance quantitative, au Tableau 5; pour chacune d'elles, un pourcentage de répartition a été établi. Le tableau nous renseigne donc sur le nombre de fois que les filières d'application visées par les projets ont été mentionnées par les chercheurs en regard de leurs projets de recherche.

TABLEAU 5

| REPARTITION DES FILIERES D'APPLICATION VISEES PAR LES PROJETS | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Filières d'application | no. de mentions | % de répartition | % de regroupements (1) | (2) | (3) |
| Santé | 21 | 52,5 | 70, | | |
| Industr. chim. | 3 | 7,5 | | | |
| Agriculture | 4 | 10,0 | | | |
| Foresterie | 3 | 7,5 | | 15, | 15, |
| Energie | 3 | 7,5 | | | |
| Trait. déchets | 3 | 7,5 | | | |
| Agro.-aliment. | 3 | 7,5 | | | |
| Total | 40 | 100% | 100% | | |

(1) Regroupement correspondant aux mentions du secteur médical, y compris les activités en microbiologie industrielle.
(2) Regroupement correspondant aux mentions du secteur Arts et sciences, i.e. Sciences biologiques et Institut botanique.
(3) Regroupement correspondant aux mentions des groupes de génie chimique à Polytechnique.

De façon évidente, c'est la filière de la santé qui cumule le plus grand nombre de mentions (52%) et il est malaisé d'en être surpris. Une distribution quasi égale de six autres filières, visées de façon presque marginale, complète ce tableau.

Les regroupements effectués sont cependant encore plus significatifs: le premier (1) trace le profil des mentions dans le secteur médical, qui couvre presque tous les champs et cumule 70% des mentions. Cette multiplicité est principalement attribuable aux activités de chercheurs en microbiologie industrielle, au département de Microbiologie-Immunologie.

Sans cet apport, la filière visée serait uniquement la santé pour l'ensemble du secteur médical.

Les 2e et 3e regroupements (2) et (3) correspondent à la portion attribuable aux mentions en Arts et sciences: agriculture, foresterie, agro-alimentaire (15%) et à Polytechnique: énergie, traitement des déchets, agro-alimentaire (15%).

Bref, toute proportion gardée, ce constat confirme la place importante que tient le secteur médical dans le développement des biotechnologies à l'université de Montréal - tel que les tableaux précédents nous l'avaient aussi signalé - d'une part, et la diversité des filières d'applications (7) concernées par les projets pris dans leur ensemble, d'autre part.

Les techniques utilisées et/ou développées

Le tableau suivant a pour objectif d'identifier les techniques biotechnologiques développées ou utilisées par les chercheurs de cette université. Il s'agit encore ici d'un tableau de fréquence d'apparition de "techniques utilisées" dans les réponses aux questions d'enquête. Le fait d'avoir réparti ces mentions autant de fois qu'elles étaient mises en regard de filières d'application facilitera la mise en relation de ces deux éléments et à préciser l'image laissée par le tableau précédent.

Les trois premières sections de ce tableau distribuent les mentions de techniques par faculté. La 4e section décrit la synthèse des mentions de techniques utilisées de toutes les facultés concernées pour toutes les filières.

TABLEAU 6

LES TECHNIQUES UTILISEES ET/OU DEVELOPPEES SELON LES FILIERES D'APPLICATION

FACULTE DE MEDECINE

| TECHNIQUES \ FILIERES | santé | ind. chim. | foresterie | énergie | trait. des déchets | agric. | TOTAL | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| . génie génétique | 12 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 19 | 28,8 |
| . cult. et fusion de cellules | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 15,2 |
| . génie biochimique | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | 10,6 |
| . procédés d'extr. et purification | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 7 | 10,6 |
| . syst. enzym. | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | 10,6 |
| . sélection des souches | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 6 | 9,1 |
| . tech.des ferm. | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 6 | 9,1 |
| . cult.des cellules | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3,0 |
| . cult.et fusion des cell.microb. | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3,0 |
| TOTAL | 32 | 13 | 6 | 6 | 6 | 3 | 66 | |
| % | 48,5 | 19,7 | 9,1 | 9,1 | 9,1 | 4,5 | | 100% |

TABLEAU 6 (suite)

| LES TECHNIQUES UTILISEES ET/OU DEVELOPPEES SELON LES FILIERES D'APPLICATION | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ARTS ET SCIENCES | | | | | |
| FILIERES TECHNIQUES | agriculture | foresterie | agro-alim. | TOTAL | % |
| . cult. et fusion de cellules végétales | 2 | 1 | 1 | 4 | 66,7 |
| . génie génétique | 1 | 1 | 0 | 2 | 33,3 |
| TOTAL<br>% | 3<br>50,0 | 2<br>33,3 | 1<br>16,7 | 6 | 100% |
| ECOLE POLYTECHNIQUE | | | | | |
| FILIERES TECHNIQUES | Agro-alim. | énergie | Trait. déchets et eaux usées | TOTAL | % |
| . technologies des fermentations | 2 | 2 | 2 | 6 | 50,0 |
| . syst. enzymatiques | 1 | 1 | 1 | 3 | 25,0 |
| . génie biochimique | 1 | 1 | 1 | 3 | 25,0 |
| TOTAL<br>% | 4<br>33,3 | 4<br>33,3 | 4<br>33,3 | 12 | 100% |

TABLEAU 6 (suite)

LES TECHNIQUES UTILISEES ET/OU DEVELOPPEES SELON LES FILIERES D'APPLICATION

TOUTES LES FACULTES

| TECHNIQUES \ FILIERES | santé | ind. chim. | énergie | trait.déchets et eaux usées | foresterie | agric. | agr-alim. | TOTAL | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| . génie génétique | 12 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 21 | 25,0 |
| . cult. et fusion de cellules | 10 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 14 | 16,7 |
| . technologies des fermentations | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0 | 2 | 12 | 14,3 |
| . génie biochimique | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10 | 11,9 |
| . syst.enzymatiques | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10 | 11,9 |
| . procédés d'extr. et purification | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 7 | 8,3 |
| . sélection des souches | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 6 | 7,1 |
| . cult.des cellules | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2,4 |
| . cult.et fusion des cell.microb. | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2,4 |
| TOTAL | 32 | 13 | 10 | 10 | 8 | 6 | 5 | 84 | |
| % | 38,1 | 15,5 | 11,9 | 11,9 | 9,5 | 7,1 | 6,0 | | 100% |

L'intérêt que présente l'observation du tableau synthèse (toutes les facultés) est de reconnaître la prépondérance des techniques sous le titre desquels l'université a elle-même regroupé ses unités. En effet, le génie génétique (25%), la culture et la fusion de cellules (animales, végétales, microbiennes) (21,5%), la technologie des fermentations et le génie biochimique (que nous regroupons ici) (26,2) occupent les principaux champs d'investigation technique. Si l'on considère que les procédés d'extraction et de purification et la sélection de souches sont des techniques nécessaires mais plus usuelles, il n'en est pas de même pour les systèmes enzymatiques - qui y sont développés marginalement mais de façon pertinente (11,9%). Les techniques réputées pertinentes aux biotechnologies sont donc développées ou utilisées à l'université de Montréal.

Si l'on observe la section du tableau qui concerne le secteur médical, on constate que ce dernier touche à toutes les techniques et, comme on l'a vu au Tableau 5, exploite une prolifération de filières d'application. Les technologies des fermentations et le génie biochimique ne sont pas ici l'apanage exclusif de Polytechnique ni la culture de cellules, celle des botanistes et des biologistes des Arts et Sciences. En génie génétique, le secteur médical occupe 90% en fréquence de mentions, (19 mentions sur 21) en culture et fusion cellulaire 78% (10 sur 14), et en génie biochimique-fermentations, 59% (13 sur 22). Ce que ces données renforcent, c'est l'image "médicale" de l'université de Montréal, que ce portrait souligne de plus en plus. Il ne serait pas opportun pour autant de diminuer l'importance ni la pertinence du développement des recherches qui se déroulent dans le secteur non-médical de cette institution.

Bref, globalement, on peut avancer que sans être également développées, toutes les techniques considérées par le comité comme importantes sont investiguées que, par ailleurs, les filières de l'agro-alimentaire, de l'agriculture et de la foresterie sont les moins touchées par les recherches où celle de la <u>santé</u> prédomine (38% des mentions).

Les réalisations/produits envisagés

L'inventaire des mentions de réalisations/produits envisagés nous permet de cumuler une indication supplémentaire sur les visées de recherche des unités qui oeuvrent en biotechnologies. Le Tableau 7 met en pourcentage le nombre de mentions relevé par secteur; la répartition des filières d'application du tableau précédent est reprise ici pour permettre d'établir la convergence, s'il y a lieu.

Tableau 7

RÉALISATIONS/PRODUITS ENVISAGÉS EN RELATION AVEC LES FILIÈRES D'APPLICATION, SELON LES FACULTÉS

| Facultés | Réalisations/produits envisagés | No. de mentions | % | Filières d'application | % |
|---|---|---|---|---|---|
| MÉDECINE[1] (21 unités)[2] | Produits biol. ou pharm. | 8 | 47,1 | Santé | 48,5 |
| | Produits chimiques | 3 | 17,6 | Indust. chim. | 19,7 |
| | Produits pharmaceutiques | 3 | 17,6 | Foresterie | 9,1 |
| | Produits biologiques | 1 | 5,9 | Énergie | 9,1 |
| | Biotrait. des pollutions | 1 | 5,9 | Trait. déchets | 9,1 |
| | Produc. de protéines... | 1 | 5,9 | Agriculture | 4,5 |
| | | 17 | 100,0 | | 100,0 |
| ARTS/SC. ET POLYTECH. (5 unités)[3] | Renouv. de techniques agricoles ou horticoles | 2 | 40,0 | Agro-aliment. | 27,8 |
| | Produits biologiques | 1 | 20,0 | Énergie | 22,2 |
| | Utilisation de la biomasse | 1 | 20,0 | Trait. déchets | 22,2 |
| | Biotrait. des pollutions | 1 | 20,0 | Agriculture | 16,7 |
| | | 5 | 100,0 | Foresterie | 11,1 |
| | | | | | 100,0 |
| 3 FACULTÉS (26 unités) | Produits biol. ou pharm. | 8 | 36,4 | Santé | 38,1 |
| | Produits chimiques | 3 | 13,7 | Indust. chim. | 15,5 |
| | Produits pharmaceutiques | 3 | 13,7 | Énergie | 11,9 |
| | Produits biologiques | 2 | 9,1 | Trait. déchets | 11,9 |
| | Renouv. tech. agricoles | 2 | 9,1 | Foresterie | 9,5 |
| | Biotrait. pollutions | 2 | 9,1 | Agriculture | 7,1 |
| | Utilisation/biomasse ... | 1 | 4,5 | Agro-aliment. | 6,0 |
| | Produc. de protéines ... | 1 | 4,5 | | |
| | | 22 | 100,0 | | 100,0 |

1 Huit unités de chercheurs n'ont pas mentionné de réalisations envisagées.

2 Deux unités ont été fusionnées en une seule; deux autres unités ont été écartées, n'ayant fourni aucune information. Ceci explique pourquoi 21 unités sont considérées au lieu de 24.

3 Une unité de recherche n'a pas répondu à cette question.

Ce que la dernière section du tableau confirme encore une fois (et que la section réservée à MEDECINE renforce), c'est l'émergence majoritaire de produits pharmaceutiques, biologiques ou chimiques utilisables dans la filière de la santé. Il y a donc convergence entre les produits recherchés et les filières visées.

L'orientation vers des applications ou non

Comme le Tableau 3 en faisait état, l'université a rigoureusement classé ses projets selon leur orientation plus ou moins tendue vers des applications prévisibles; sa nomenclature apportait d'ailleurs toutes les nuances nécessaires.

En termes plus pratiques, on pourrait nommer les projets fondamentaux par opposition à "appliqués" et "fondamentaux/appliqués", ceux qui, sans pouvoir se targuer d'une application immédiate, entrevoient des applications possibles.

Cette information sur l'orientation des recherches vers des applications ne sera pas traitée ailleurs qu'ici de façon aussi nette puisque les autres institutions ne nous ont pas fourni d'informations aussi claires. Si elle est traitée ici, ce n'est pas dans la perspective de défavoriser en quoi que ce soit l'institution qui a eu la pertinence de nous la fournir mais pour bien signaler l'intérêt de cerner cette dimension en biotechnologies. On pourrait même considérer que seuls les projets de recherche appliquée présentent de l'intérêt pour le développement d'une bio-industrie. Toutefois, on a vu dans l'introduction - et le chapitre des conclusions reviendra là-dessus - que dans un pays où les biotechnologies sont en émergence, la recherche fondamentale en biosciences est indispensable, voire impérieuse.

Quoi qu'il en soit, nous relatons ici aux Tableaux 8 et 9, ces données sur les orientations de recherche, convaincus que, à la lumière des analyses faites de tous les projets de toutes les universités, cette

répartition de "fondamental" à "appliqué" reflétera aussi l'image - à peu de choses près - des autres universités (40% pour application immédiate, 25% pour application possible, 35% pour fondamental).

TABLEAU 8

ORIENTATION DES PROJETS VERS DES APPLICATIONS OU NON SELON LE CLASSEMENT EFFECTUE PAR L'UNIVERSITE

| Type d'application | no. d'unités | no. de projets | % |
|---|---|---|---|
| "Visant une application industrielle ou biomédicale immédiate" | 9 | 13 | 40,6 |
| "Ayant une application industrielle, agricole ou biomédicale possible" | 7 | 8 | 25,0 |
| "Biomédicaux et fondamentaux utilisant les technologies propres à la biotechnologie" | 10 | 11 | 34,4 |
| | 26 | 32 | 100 |

TABLEAU 9

ORIENTATION DES PROJETS VERS DES APPLICATIONS OU NON, SELON LE CLASSEMENT EFFECTUE PAR L'UNIVERSITE ET SELON LE SECTEUR CONCERNE

| Type d'application (projets..) [1] | Secteur médical no.projets | % | Secteur non-médical no.projets | % | Total % |
|---|---|---|---|---|---|
| "Visant une application industrielle ou biomédicale immédiate" | 5 | 15,6 | 8 | 25,0 | =40,6 |
| "Ayant une application industrielle, agricole ou biomédicale possible" | 8 | 25,0 | 0 | - | =25,0 |
| "Biomédicaux et fondamentaux utilisant les technologies propres à la biotechnologie" | 11 | 34,4 | 0 | - | =34,4 |
| Total<br>Total | 24 | 32 | 5 | | 100 |

1 Tel que libellé par l'université

Si un commentaire s'avérait nécessaire, ce serait celui de souligner que les visées d'applications immédiates sont polarisées dans le secteur non-médical (25% sur 40%) qui ne participe pas, d'après les données qui nous ont été fournies du moins, à des efforts de recherche fondamentale - qui semble ici entièrement assumée par le secteur médical.

Les subventions de recherche

Il est indispensable ici de mettre en relief, pour compléter ce portrait, les subventions accordées aux différentes unités de recherche par les principaux organismes subventionnaires, afin de faire ressortir d'une part, leur capacité d'obtenir la caution de leurs pairs et d'autre part, la principale filière dans laquelle elles oeuvrent.

Le Tableau 10 décrit de façon détaillée les montants alloués aux 29 unités de recherche, regroupées en départements et ce, pour l'année 1982 en guise d'année-témoin. Un sous-total et une moyenne de subventions par année, par chercheur subventionné sont aussi établis par département, institut ou école.

Il était impossible, compte tenu de la teneur des données fournies, de discerner si ces subventions ont été allouées pour ce ou ces projets précis en biotechnologies. Elles restent cependant indicatives d'une certaine "productivité" des chercheurs et d'une certaine "séniorité" dans le monde de la recherche. On verra en Appendice B la liste des organismes auxquels renvoient les sigles mentionnés.

## TABLEAU 10

RÉPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 1982, PAR UNITÉ DE RECHERCHE ET PAR DÉPARTEMENT, EN $

| FACULTÉ/ département | CHERCHEUR PRINCIPAL | CRM | INC | NCI | IRC | SBC | CRSNG | FRSQ | CNR | U.de M. | FCAR | CRSAQ | POLY | DGES | FCAC | AUTRE | TOTAL | MOYENNE PAR CHERCH. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MÉDECINE | Boileau | 44 334 | | | | | | 25 000 | | | | | | | | | 69 334 | |
| | Cedergren | 55 000 | | | | | | | 40 000 | | | | | | | | 95 000 | |
| Biochimie | Karskawysocky | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5/4 chercheurs | Crine | 54 000 | | | 32 835 | | | | | 7 200 | | | | | | | 94 035 | |
| | Le Grimellec | 55 000 | | | | | | | | 10 000 | 25 000 | | | | | | 90 000 | |
| | SOUS-TOTAL | 208 334 | | | 32 835 | | | 25 000 | 40 000 | 17 200 | 25 000 | | | | | | 348 369 | 87 092 |
| Microbiologie | Desrochers[1] | | | | | | | | | | | | | | | ND | ND | |
| et immunologie | Sasarman | 73 252 | | | | | | | | | | | | | | | 73 252 | |
| 6/2 chercheurs | Vézina[1] | | | | | | | | | | | | | | | ND | ND | |
| | Forget | 52 513[2] | | | | | | | | 10 000[4] | | | | | | | 62 513 | |
| | Montplaisir | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Viens[3] | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SOUS-TOTAL | 125 765 | | | | | | | | 10 000 | | | | | | | 135 765 | 67 883 |
| Pathologie | Jasmin | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1/0 chercheur | SOUS-TOTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Institut du | Bradley[4] | 42 000 | | 41 000 | | | | | | | | | | | | | 83 000 | |
| cancer | Kessous-Elbaz[5] | | | 66 316 | | | | | | | | | | | | | 66 316 | |
| 9/9 chercheurs | Royal[4] | 40 000 | | | | 8 000 | | | | | | | | | | | 48 000 | |
| | Skup[4] | 88 940 | | | | | | 25 000 | | | | | | | | | 113 940 | |
| | Bibor-Hardy[4] | 70 000 | | | | | | | | | | | | | | | 70 000 | |
| | Morais[6] | 50 233[3] | | | | | | | | 1 067[3] | | | | | | | 51 300 | |
| | Raymond[4] | 33 000 | | | | | | 8 500 | | | | | | | | | 41 500 | |
| | Simard | 60 000[3] | 20 000[3] | | | | | | | | | | | | | | 80 000 | |
| | Hyo-Ja Suh[4] | | 43 000 | | | 12 500 | | | | | | | | | | | 55 500 | |
| | SOUS-TOTAL | 384 173 | 63 000 | 107 316 | | 20 500 | | 33 500 | | 1 067 | | | | | | | 609 556 | 67 728 |

1 Contrats avec l'industrie; montants non divulgués
2 Moyenne annuelle établie à partir d'un montant global alloué pour deux années (1981-1983)
3 Subvention en attente
4 Ce chercheur est aussi professeur au département de médecine
5 Ce chercheur est aussi professeur au département de pathologie

**TABLEAU 10 (suite)**

**REPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 1982, PAR UNITE DE RECHERCHE ET PAR DEPARTEMENT, EN $**

| FACULTE/ département | CHERCHEUR PRINCIPAL | CRM | IRC | NCI | IRC | SRC | CRSNG | FRSQ | CNR | U.de M. | FCAR | CRSAQ | POLY | DGES | FCNC | AUTRE | TOTAL | MOYENNE PAR CHERCH. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Institut de recherche cliniques 3/1 chercheurs | Jolicoeur[7] Marcel Milne | 28 350 | | | | | | | | | | | | | 8 500 | | 36 850 | |
| | SOUS-TOTAL | 28 350 | | | | | | | | | | | | | 8 500 | | 36 850 | 36 850 |
| TOTAL FACULTE | 24/16 cherch. | 746 622 | 63 000 | 107 316 | 32 835 | 20 500 | | 58 500 | 40 000 | 28 267 | 25 000 | | | | 8 500 | | 1 130 540 | 70 658 |
| ARTS ET SCIENCES Sciences biologiques 2/1 chercheurs | Phan Chung[3] | | | | | | 10 000 | | | | | | | | | | 10 000 | |
| | SOUS-TOTAL | | | | | | 10 000 | | | | | | | | | | 10 000 | 10 000 |
| Inst.botanique 1/1 chercheur | Vieth | | | | | | 37 400 | | | | | 12 400 | | | | | 49 800 | |
| | SOUS-TOTAL | | | | | | 37 400 | | | | | 12 400 | | | | | 49 800 | 49 800 |
| TOTAL FACULTE | 3/2 cherch. | | | | | | 47 400 | | | | | 12 400 | | | | | 59 800 | 29 900 |
| ECOLE POLYTECH Génie chimique 3/3 chercheurs | Bataille Mayer & Rouleau | | | | | | 17 000 | | | | | | 10 000 | 9 000 | | | 9 000 27 000 | |
| | SOUS-TOTAL | | | | | | 17 000 | | | | | | 10 000 | 9 000 | | | 36 000 | 12 000 |
| TOTAL POLY. | 3/3 cherch. | | | | | | 17 000 | | | | | | 10 000 | 9 000 | | | 36 000 | 12 000 |
| GRAND TOTAL | 30 chercheurs 21 personnes | 746 622 | 63 000 | 107 316 | 32 835 | 20 500 | 64 400 | 58 500 | 40 000 | 28 267 | 25 000 | 12 400 | 10 000 | 9 000 | 8 500 | | 1 226 340 | 40 878 58 397 |

6 Ce chercheur est aussi professeur au département de biochimie
7 Ce chercheur est aussi professeur au département de microbiologie et immunologie
8 Moyenne annuelle établie à partir d'un montant global déclaré pour trois ans
9 Moyenne annuelle établie à partir d'un montant global déclaré pour cinq ans

La première observation concerne la concentration considérable de la provenance des subventions: d'abord du Conseil de la recherche médicale (747 K.) puis de l'ensemble des organismes qui subventionnent des recherches sur le cancer (INC, NCI, IRC, SRC) soit 224 K. Les fonds provenant du F.R.S.Q. sont presque aussi importants que ceux du C.R.S.N.G. bien qu'ils soient étonnamment peu élevés compte tenu de l'importante quantité des équipes qui travaillent en recherches médicales. Les montants alloués par les six organismes subventionnaires en santé précités totalisent 84% de la somme globale allouée qui est de 1,3 millions. On note aussi que la petite part consentie par l'université elle-même n'est destinée qu'au secteur médical.

Le deuxième constat est à l'effet que c'est en Biochimie que l'on retrouve la moyenne par chercheur subventionné (par année) la plus élevée (87K.), de très bon niveau en Microbiologie et à l'Institut du cancer (67K.), remarquableà l'Institut botanique (50K.) si l'on tient compte du fait que le secteur non-médical est généralement moins pourvu que le secteur médical* et généralement plus faible ailleurs. La moyenne annuelle par chercheur pour toutes les facultés reste toutefois appréciable, moyenne qui a été établie, comme toutes les autres, à partir du nombre réel de chercheurs subventionnés. La pertinence des recherches menées sera discutée au point suivant.

Commentaires

Une concentration des effectifs de recherche se retrouve dans le secteur médical à 80% bien que la filière d'application de la santé ne polarise qu'un peu plus de 50% des objectifs de recherche, qui exploitent toutes les filières des biotechnologies, excepté celle des mines, dont certaines, de façon marginale, l'agro-alimentaire, l'agriculture, la foresterie, par exemple.

* l'ensemble de la partie II nous donnera l'occasion de le constater

Toutes les techniques considérées majeures en biotechnologies y sont explorées majoritairement par le secteur médical et particulièrement celles du génie génétique et de la culture et fusion des cellules. Notons aussi l'apport de Polytechnique en "génie des procédés", tel que l'université nomme son activité, qui développe une expertise sûre en technologies des fermentations. Sans omettre le développement secondaire mais nécessaire des systèmes enzymatiques, nous retrouvons ici les thèmes sous lesquels l'université a regroupé ses unités de recherche.

La recherche appelée ici "fondamentale" en biotechnologies y est entièrement assumée par le secteur médical quand la recherche appliquée l'est d'abord par le secteur non-médical. 84% de l'ensemble des subventions déclarées ont été attribuées au secteur médical et sa provenance est celle des organismes qui subventionnent des recherches en santé. Cependant, une percée en Botanique n'est pas négligeable: elle rappelle que malgré l'ampleur du champ occupé par la médecine, d'autres types de recherches se poursuivent à l'université de Montréal. L'examen de pertinence qui suit nuancera ce portrait plus quantitatif que qualitatif.

## 1.3 ANALYSE DU POTENTIEL DE RECHERCHE ET DE FORMATION AUX ETUDES AVANCEES

Les commentaires qui apparaissent sous cette rubrique ont été précédés d'un examen de la "productivité"* des équipes de recherche en regard de leurs activités scientifiques. A cette fin, ont été considérées les subventions de recherche des unités, alliées au nombre de leurs publications en cinq ans et ce, en regard de l'examen de pertinence "biotechnologique" des projets. Ces considérations de masse critique et de pertinence ont été complétées par celles sur l'incidence des relations des chercheurs établies avec d'autres chercheurs ou d'autres équipes, soit rattachés à des institutions extérieures soit à l'industrie. L'incidence des relations interdépartementales (intra-muros) a été aussi considérée ici comme un élément relié au développement des biotechnologies.

La mise en relation de ces premiers facteurs trouve une pleine justification quand il s'agit d'évaluer des probabilités de développement des domaines reliés aux biotechnologies mais également quand il s'agit d'identifier la capacité des unités de recherche de former de la main-d'oeuvre spécialisée, de nouveaux chercheurs, bref, quand il s'agit de préparer l'avenir d'un développement souhaité. Il a donc fallu mettre aussi en perspective le nombre d'étudiants diplômés depuis cinq ans, issus de ces équipes; le nombre d'inscrits actuellement par unité aurait été, dans ce contexte, une donnée significative mais elle n'a été founie que globalement, comme le Tableau I en fait foi. Le Tableau II relate toutes ces données factuelles.

Le comité disposait, outre ces données, de la description des projets de recherche, de leurs possibilités d'application (dans certains cas), du libellé des thèses terminées récemment, du descriptif des perspectives de réalisations, des collaborations internes développées, etc. L'ensemble de ces informations a servi à l'examen du comité sur les projets, dont voici globalement le résultat.

---

* avec toutes les nuances et la pondération que ce terme impose sur le plan universitaire

TABLEAU 11

| PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS, ETC. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FACULTE/ département | CHERCHEUR PRINCIPAL | NO. TOTAL DE CHERCHEURS | SUBVENTIONS EN 1982, EN $ | NO. PUBLICATIONS, 5 ANS | MOY. PUBL. 1 an | COLLABORATIONS EXTRA-MUROS | ETUDIANTS DIPLOMES 5 ans/M. Sc. | LIENS AVEC L'INDUSTRIE |
| MEDECINE | | | | | | | | |
| Biochimie | Boileau | 1 | 69 334 | 5/1 | 1,0 | Sonserberg, U. McGill | - | - |
| | Cedergren | 1 | 95 000 | 20/1 | 4,0 | Grosjean, U. Bruxelles; Larue, UQTR; Zimmermann, Fournier, U. Mass. | 4 | - |
| | Karskavysocky | 1 | - | 5/1 | 1,0 | - | - | - |
| | Crine | 1 | 94 035 | 27/1 | 5,4 | - | 1 | - |
| | Le Grimellec | 1 | 90 000 | 17/1 | 3,4 | - | 1 | - |
| | TOTAL | 5 | 348 369 | | 3,0 | | 6 | |
| Microbiologie et Immunologie | Desrochers | 1 | ND | 9/1 | 1,8 | Seligny, Thomas, Yaguchi, Willick, Crosby, Moranelli, CRC | 1 | Ont.Paper Co & Cies membres de l'ICRPP* |
| | Sasarman | 1 | 73 252 | 6/1 | 1,2 | Vézina, Shareck, IAF | 9 | - |
| | Vézina | 1 | ND | 5/1 | 1,0 | Seghal et autres, lab. Ayerst[1] | - | Lab.Ayerst[1] |
| | Forget | 1 | 62 513 | - | - | Skamene, U. McGill | 5 | - |
| | Montplaisir | 1 | - | - | - | - | 4 | - |
| | Viens | 1 | - | 16/1 | 3,2 | - | 5 | - |
| | TOTAL | 6 | 135 765 | | 1,8 | | 24 | |
| Pathologie | Jasmin | 1 | - | - | - | - | 2 | - |
| | TOTAL | 1 | - | - | - | | 2 | |
| Institut du cancer | Bradley | 1 | 83 000 | 8/1 | 1,6 | Taylor, Indiana Univ. | 2 | - |
| | Kessous-Elbaz | 1 | 66 316 | 12/1 | 2,4 | - | - | - |
| | Royal | 1 | 48 000 | 6/1 | 1,2 | - | - | - |
| | Skup | 1 | 113 940 | 9/1 | 1,8 | de Maeyer, Inst. Curie, Fr. | - | - |
| | Bibor-Hardy | 1 | 70 000 | - | - | - | - | - |
| | Morais | 1 | 51 300 | 9/1 | 1,8 | Kornblatt, U. Concordia; Landry, Inst.d'oncologie moléc. | 4 | - |
| | Raymond | 1 | 41 500 | 6/1 | 1,2 | - | - | - |

1 Au moment de la cueillette des données, janvier 1983

* Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers

**TABLEAU 11 (suite)**

| PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS, ETC. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FACULTE/ département | CHERCHEUR PRINCIPAL | NO. TOTAL DE CHERCHEURS | SUBVENTIONS EN 1982, EN $ | NO. PUBLICATION, 5 ANS | MOY. PUBL. 1 an | COLLABORATIONS EXTRA-MUROS | ETUDIANTS DIPLOMES 5 ans/M. Sc. | LIENS AVEC L'INDUSTRIE |
| Institut du cancer (suite) | Simard | 1 | 80 000 | 18/1 | 3,6 | - | 2 | - |
| | Ryo-Ja Suh | 1 | 55 500 | 10/1 | 2,0 | Duquette, Mountquin, Hôp. N.D. de Mtl | - | - |
| | TOTAL | 9 | 609 556 | | 2,0 | | 8 | |
| Institut de recherches cliniques | Jolicoeur | 1 | - | - | - | - | 2 | - |
| | Marcel | 1 | - | 18/1 | 3,6 | - | - | - |
| | Milne | 1 | 36 850 | 9/1 | 1,8 | Sniderman, U. McGill; Douste-Blazy, Toulouse, Fr. | - | AE Biological, Toronto |
| | TOTAL | 3 | 36 850 | | 2,7 | | 2 | |
| ARTS ET SCIENCES Sciences biologiques | Phan | 1 | 10 000 | 5/1 | 1,0 | Bérard, Agr. Can.; Letouzé, Angers, Fr.; Brack, Ottawa | 4 | - |
| | Chung | 1 | - | 11/1 | 2,2 | - | 4 | - |
| | TOTAL | 2 | 10 000 | | 1,6 | | 8 | |
| Institut botanique | Vieth | 1 | 49 800 | 8/1 | 1,6 | Dubuc-Lebreux, UQAM | 1 | - |
| | TOTAL | 1 | 49 800 | | 1,6 | | 1 | |
| ECOLE POLYTECHNIQUE Génie chimique | Bataille | 1 | 9 000 | 12/1 | 2,4 | - | - | - |
| | Mayer & Bouleau | 2 | 27 000 | 5/2 | 0,5 | Desrochers, Inst. Can. des pâtes et papiers | 5 | - |
| | TOTAL | 3 | 36 000 | | 1,0 | | 5 | |
| GRAND TOTAL | 29 unités | 30 | 1 226 340 (M=58,4K) | - | - (M=2,0) | | 56 | |

Secteur médical: (Médecine)

- Biochimie (5 unités/5 chercheurs)

a) groupe de génie génétique:

1. "Biosynthèse des neuropeptides dans les ganglions spinaux"
2. "Mécanismes d'interférence virale"
3. "Design moléculaire d'enzymes biosynthétiques"

La première recherche est menée par un jeune biochimiste, bien subventionné, avec lequel collaborent Jacques Drouin, généticien moléculaire et expert en clonage de l'Institut de recherches cliniques de Montréal et N. Sosenberg, biochimiste de McGill. Elle est de type fondamental, i.e. qu'elle peut conduire à l'acquisition de connaissances nouvelles en génétique concernant les neuropeptides; les possibilités d'application sont lointaines ainsi que les perspectives éventuelles de contrôle de la transmission de la douleur.

La 2e recherche relèverait davantage de la virologie moléculaire fondamentale que des biotechnologies, à moins d'obtenir des substances pour le traitement ou la prévention des infections virales, ce que le chercheur projette comme objectif d'application. Toutefois, le projet n'ayant pas été classé, en termes d'orientation, par l'université ni ne faisant l'objet de subventions, le comité croit qu'il s'agit là de l'activité d'un nouveau chercheur dont on ne peut anticiper de réalisations qu'à long terme, pour l'instant.

Il en est tout autrement de la 3e recherche, réalisée par un des meilleurs biochimistes du Québec, très bien subventionné, très productif sur le plan des publications et qui a su s'adjoindre la collaboration de chercheurs en informatique afin d'utiliser les ordinateurs pour effectuer des simulations. Il réalise actuellement la fabrication de RNAs

synthétiques à structure définie à partir de RNAs naturels et il est à mettre au point une banque de données biomoléculaires. Ses connaissances en génie génétique et en systèmes enzymatiques l'amènent à envisager, à court terme, des applications dans les filières de la santé (fabrication d'enzymes), de l'agriculture (en traitement des aliments), en industrie chimique (production de produits chimiques par synthèses enzymatiques) par des voies autres que les synthèses chimiques. Ce chercheur a formé quatre étudiants depuis cinq ans (M. Sc.) et a développé des collaborations extra-muros aussi bien en Europe qu'aux Etat-Unis.

b) groupe de fusion cellulaire/anticorps monoclonaux:

4. "Caractérisation des peptides reliés à la β-endorphine et à l'ACTH"
5. "Application des anticorps monoclonaux à la mesure des vitesses de diffusion des protéines dans les membranes rénales"

Le chercheur qui réalise la 4e recherche travaille avec les hybridomes, technique très biotechnologique, à la caractérisation de peptides, analgésiques produits par le cerveau. Cette recherche, classée dans les projets ayant une application biomédicale possible, est largement subventionnée; elle pourrait déboucher sur de nouvelles méthodes de dosage des hormones et sur la capacité de diagnostiquer précocement certaines pathologies. Ce checheur, qui est le plus productif sur le plan des publications (5,4 de moyenne annuelle) a formé une étudiante à la maîtrise. Il s'est adjoint la collaboration du chercheur qui effectue la 5e recherche (et vice-versa) et celle d'un chercheur de l'Institut de recherches cliniques de Montréal.

Le 5e projet, à caractère fondamental, implique l'utilisation d'anticorps monoclonaux et des perspectives de réalisations à long terme dans la fusion de membranes artificielles avec les cellules, et dans l'apport spécifique de molécules médicamenteuses à des cellules-cibles; il est largement subventionné. La moyenne des publications de ce chercheur est élevée et un étudiant à la M. Sc. a été formé par lui.

Commentaires

De la recherche fondamentale de qualité s'effectue en Biochimie et c'est là qu'on trouve la moyenne de subventions par année, par chercheur subventionné, la plus élevée. A l'exception du nouveau chercheur relié à la 2e recherche, tous ces professseurs-chercheurs isolés bénéficient du soutien de personnels tels des techniciens, des étudiants gradués ou quelquefois, des chercheurs post.-doc. et ce, dans un nombre variant de une à cinq personnes. Ils sont spécialisés en génie génétique ou en fusion cellulaire et comptent, parmi eux, des espoirs de relève. A l'exception de monsieur Cedergren, ils sont peu orientés vers la recherche d'applications immédiates.

- Microbiologie-Immunologie (6 unités/6 chercheurs)

a) groupe de génie génétique:

6. "Production commerciale de xylanase"
7. "Clonage moléculaire d'enzymes cellulolytiques chez S. cerevisiae"
8. "Clonage des gènes hem et de E. coli K-12 et applications éventuelles dans la clinique des porphyrines humaines"
9. Biosynthèse de la vitamine B-12: effet des mutations, des voies connexes et dosage génique"
10. "Amélioration de la productivité de micro-orgamismes d'intérêt industriel".

Les projets 6 et 7 de microbiologie appliquée, très pertinents aux biotechnologies, relèvent du même chercheur qui est très impliqué dans l'industrie* et qui y est bien entouré. Ils appellent l'utilisation de techniques afférentes aux biotechnologies: le génie génétique, les systèmes enzymatiques, les technologies des fermentations, etc.

* qui d'ailleurs, le subventionne

A court et moyen termes, ils visent

- la mise au point de procédés biologiques pour la mise en pâte, la détoxification et la fermentation des eaux résiduaires d'industries de pâtes et papiers, et
- la dégradation de la cellulose en vue d'obtenir des sucres simples à fermenter en produits utiles comme l'ethanol et comme des produits énergétiques ou des protéines d'organismes monocellulaires.

Ce chercheur a, par ailleurs, développé des liens avec plusieurs chercheurs du Conseil de la recherche du Canada et entretient la collaboration de deux ingénieurs biochimiques de l'Ecole Polytechnique, messieurs Mayer et Rouleau. Pour réaliser ces projets, il est entouré de 13 autres personnes, chercheurs (3)*, étudiants gradués (6), techniciens (4). Il publie mais n'a cependant produit qu'un diplômé à la M. Sc. depuis cinq ans.

De la même manière, les projets 8 et 9 sont réalisés par un seul chercheur, généticien des microbes, dont les activités en biotechnologies sont le fruit d'un cheminement continu en recherche fondamentale qui s'est échelonné sur plusieurs années. Il s'agit de projets très biotechnologiques, l'un fondamental, l'autre avec applications possibles et qui visent la production industrielle de porphyrines par les cellules bactériennes, l'établissement d'un modèle préliminaire de thérapie génique pour les pathologies du métabolisme des porphyrines, et la production industrielle de vitamine B-12. Ce chercheur actif et bien subventionné a formé neuf étudiants depuis cinq ans, dont les thèses sont toutes très convergentes aux projets pré-cités; ses personnels de recherche sont composés de dix étudiants et d'un technicien.

La 10e recherche a pour objectif d'appliquer la génétique microbienne à l'amélioration de la productivité des souches microbiennes productrices

---

* qui ne sont pas nommés

d'antibiotiques et de celles qui transforment les composés organiques en d'autres composés qui peuvent avoir une utilité pharmacologique. Il s'agit ici de microbiologie appliquée et de visées d'applications à court terme. Toutefois, le chercheur titulaire de cette recherche l'a temporairement suspendue à cause d'un déplacement de chez Ayerst vers l'I.A.F. et de la période de transition nécessaire à sa réinsertion et aussi, à cause des nouvelles tâches de direction et de planification qui lui incombent maintenant.

b) groupe de fusion cellulaire/anticorps monoclonaux:

11. "Analyse génétique et expression phonotypique de la résistance précoce à l'infection à BCG chez la souris"
12. "Apport des anticorps monoclonaux au diagnostic rapide des infections et à la caractérisation des syndromes lymphoprolifératifs".
13. "Anticorps monoclonaux pour la définition des antigènes de Trypanosoma musculi"

La recherche citée sous le chiffre 11 est de type fondamental en immunologie médicale et ne présente de pertinence en biotechnologies que par l'utilisation des hybridomes. Cinq étudiants ont été formés par ce bactériologiste avec lequel travaillent un collègue biochimiste (Crine), les deux autres microbiologistes à venir et deux étudiants gradués.

La recherche suivante présente les mêmes caractéristiques sauf que les applications y sont prévisibles (A.M. dirigés contre des microbes pathogènes). Quatre étudiants ont été dirigés en maîtrise par ce chercheur pour lequel aucune subvention ni aucun autre personnel de soutien n'apparait.

La 13e recherche est semblable: utilisation d'une technique nouvelle pour solutionner des problèmes d'immunologie "anciens", en l'occurence, les A.M. pouvant servir au diagnostic des maladies parasitaires, ce chercheur étant un expert en maladies tropicales. Cinq étudiants formés, une moyenne de publications élevée, des subventions en attente.

Commentaires

En ce qui a trait aux trois derniers projets, fort semblables, où les chercheurs impliqués travaillent les uns avec les autres et avec le biochimiste Crine, il est étonnant de constater que l'université ne les ait pas présentés comme une équipe, d'autant plus qu'il y a peu d'autres personnels impliqués. Est-ce un signe distinctif de cette institution? Beaucoup de chercheurs solitaires et peu d'équipes interdisciplinaires intégrées?

Les caractéristiques des trois autres unités sont fort différentes: des chercheurs isolés soit, mais ayant développé beaucoup de collaborations, entourés de personnels (sauf dans un cas, très particulier) et centrés sur des recherches appliquées.

- Institut du cancer (9 unités/9 chercheurs)

a) groupe de génie génétique:

14. "Etude moléculaire de mutations chez les cellules en culture"
15. "Transformation oncogénique des cellules de mammifères par fragments clonés de l'herpès simplex type 2"
16. "Recherche des séquences virales dans les cellules transformées par l'herpès simplex type 2"
17. "Clonage des gènes de la matrice nucléaire"
18. "Biologie moléculaire de la différenciation lors du développement de l'embryon de mammifère"
19. "Clonage et analyse des gènes impliqués dans la différenciation cellulaire et la régulation de la production d'interférons"
20. "Etudes sur l'induction des interférons in vivo".

La caractéristique commune aux trois premiers groupes de projets (14, 15-16, 17-18), qui sont reliés à trois unités, est d'être d'aspect

fondamental. "Etude moléculaire..." est dirigée par un agrégé de recherche de grande qualité et bien subventionné, qui utilise le génie génétique et la culture de cellules animales pour atteindre des objectifs fondamentaux de compréhension du cancer dont les réalisations ne sont envisageables qu'à long terme. Deux étudiants formés depuis cinq ans et deux oeuvrant actuellement au projet.

Les deux autres projets (15-16) sont aussi strictement fondamentaux mais davantage dans la filière de la virologie moléculaire que dans celle des biotechnologies, malgré l'utilisation de techniques afférentes à ces dernières, à cause des objectifs très lointains et du peu d'orientation même éventuelle, vers des applications. Toutefois, le comité ne dénie pas la pertinence - comme on l'a vu dans la première partie - des recherches fondamentales: elles sont l'infrastructure scientifique nécessaire aux recherches appliquées qui peuvent déboucher sur des progrès intéressants en biotechnologies. Dans la même veine sont les travaux du chercheur qui soutient les recherches 17 et 18 en biologie moléculaire auxquelles participent un stagiaire post-doc. et trois étudiants gradués.

Enfin, les deux derniers projets de la liste ci-haut (19-20) sur la compréhension des mécanismes fondamentaux de l'interféron sont pertinents à la biotechnologie et sont très bien subventionnés; ces projets peuvent déboucher sur des applications possibles, quand les méthodes de production seront devenues plus sûres. Trois étudiants gradués font partie du personnel de recherche et une collaboration a été développée avec l'Institut Curie en France.

Il est utile aussi de souligner que les chercheurs de l'Institut du cancer impliqués dans les sept projets que nous venons de commenter signalent la collaboration d'un ou de deux de leurs collègues dans la conduite de ces recherches. Il y a donc ici collaboration intra-départementale - qui n'est pas fréquente ailleurs à cette université.

b) groupe de cultures de cellules:

21. "Rôle de la matrice nucléaire dans les cellules normales ou infectées par le virus Herpès simplex"
22. "Contribution du génome mithochondrial au phénotype des cellules animales"
23. "Biogénèse de la chaîne respiratoire dans les cellules d'embryon de poule"
24. "Les protéines de la matrice et de l'enveloppe nucléaire du foie de rat"
25. "Organisation structurale et fonctionnelle du cyto-squelette"
26. "Dépistage du cancer du col utérin et du foie par hybridation in situ"
27. "Etude des polypeptides induits par le virus Herpès simplex type 2 dans les cellules infectées et les cellules transformées".

Le projet 21 est une recherche très fondamentale en biosciences avancées ou plus précisément, en virologie structurale dont les applications ne sont pas prévisibles; malgré l'utilisation de la culture des cellules, il n'y a pas de production d'anticorps monoclonaux pouvant déboucher sur des méthodes diagnostiques, ce qui fait dire au comité que malgré sa qualité, ce projet ne relève pas de la biotechnologie. D'après lesinformations recueillies ou plutôt, l'absence de données sur les étudiants formés par ce chercheur et sur ses publications, on serait porté à croire qu'il s'agit d'un professeur nouvellement affecté dont l'évolution est à suivre.

Les recherches 22 et 23, de caractère fondamental, ne peuvent laisser présumer, pour l'instant, de réalisations appliquées aux biotechnologies, ne fut-ce qu'à long terme, même si des perspectives futures de "transfection des cellules animales avec de l'ADN mitochondrial" sont envisagées par le chercheur qui les réalise.

Un nouveau chercheur conduit la 24e recherche, classée fondamentale; il collabore avec un autre chercheur de l'Institut et encadre un étudiant. Le peu d'informations dont dispose le comité sur ce projet ne lui permet pas de pousser son commentaire plus avant.

De caractère très fondamental, les 25 et 26e recherches sur le cancer sont menées par un chercheur de grande réputation, très actif sur le plan des publications et bien subventionné, dont les travaux ont peu d'incidence en biotechnologies, si ce n'est l'utilisation d'hybridomes. Deux étudiants ont été formés par lui depuis cinq ans et deux autres chercheurs de l'Institut collaborent à ses recherches.

La recherche 27 est plus orientée vers des applications possibles, un vaccin contre l'herpès simplex par exemple, obtenu avec des cellules transformées par génie génétique. Les collaborateurs, dans ce cas-ci, sont des chercheurs de l'Hôpital Notre-Dame de Montréal. Les subventions et la moyenne des publications sont appréciables et un étudiant gradué assiste le chercheur dans ce projet.

Bref, dans l'ensemble, peu de recherches pertinentes aux biotechnologies à court ou à moyen terme mais des recherches fondamentales en cancer dont personne ne pourrait dénier l'intérêt en santé humaine et dont certaines pourront avoir des retombées en biotechnologies.

- Institut de recherches cliniques (3 unités/ 3 chercheurs)

a) groupe de génie génétique:

Malgré l'absence d'information sur les travaux de monsieur Paul Jolicoeur, le comité sait et croit bon de mentionner ici qu'il travaille sur le virus de la leucémie murine et cherche, lui aussi, une meilleure compréhension des mécanismes du cancer; d'aspect fondamental, ses recherches mettent à profit des méthodes modernes en génie génétique, en virologie moléculaire et en oncologie.

b) groupe de fusion cellulaire/anticorps monoclonaux:

28. "Métabolisme des lipo-protéines. Transport du cholestérol"
29. "Etude des lipo-protéines humaines à l'aide d'anticorps monoclonaux"

Le comité trouve étonnant la dissociation de ces projets en deux équipes de un chercheur chacune travaillant sur le même objet, chacun d'eux s'est adjoint la collaboration d'un autre chercheur de l'Institut et le deuxième chercheur, celle d'experts d'autres institutions extra-muros et d'une industrie de Toronto; notons cependant que seul le 2e est subventionné. Bien qu'il y ait utilisation d'anticorps monoclonaux, le comité croit que ces projets ont peu de lien avec la biotechnologie même si on envisage des applications possibles dans la mise au point d'une méthode servant à suivre la circulation des protéines dans le sang afin de traiter les patients hyperlipidémiques.

Commentaires

L'intérêt biotechnologique de cet ensemble d'unités de recherche du secteur médical est focalisé sur

- les travaux d'un biochimiste qui travaille, dans plusieurs filières d'applications, à trouver des voies de synthèse enzymatique, ceux d'un
- autre biochimiste qui cherche à caractériser des peptides avec la technique des hybridomes,
- les recherches en microbiologie appliquée sur le traitement des eaux résiduaires et la dégradation de la cellulose,
- celles d'un généticien des microbes qui vise la production industrielle de porphyrines, par les cellules bactériennes, et de vitamine B-12,
- la production d'interferons en génie génétique et culture de cellules.

Par ailleurs, de la recherche fondamentale en biosciences avancées s'y déroule de façon importante et avec beaucoup d'expertise. Sauf à l'Institut du cancer où les chercheurs collaborent aux projets des uns et des autres, ce secteur est caractérisé par l'absence d'équipes interdisciplinaires intégrées.

Secteur non-médical (Arts et Sciences, Polytechnique)

- Sciences biologiques (2 unités/2 chercheurs)

a) groupe de génie génétique:

30. "Isolement et amplification du gène de la toxine de B. thuringiensis"

b) groupe de culture de cellules:

31. "Culture de tissus végétaux: recherche des causes métaboliques de malformations"

Le chercheur titulaire de la recherche 30 s'est récemment orienté en génétique moléculaire, orientation pour laquelle son cheminement scientifique antérieur l'avait bien préparé. Sa recherche, visant des applications immédiates en production d'insecticides biologiques contre les insectes des forêts, étudie la biosynthèse de la toxine de B.T. par voie de génie génétique et l'augmentation de son rendement à meilleur coût (ce qui pourrait compléter les travaux d'application de M. Smirnoff). Quatre étudiants, travaillant en génétique microbienne sur les effets de l'ozone, ont été formés par ce chercheur entre 1978 et 1980; un étudiant gradué assiste ce dernier et un autre chercheur du département collabore avec lui. La nouveauté des préoccupations biotechnologiques de ce chercheur ne lui avait pas encore valu, au moment de l'enquête, d'obtenir des subventions spécifiques pour ce projet, très pertinent aux biotechnologies.

L'expertise développée en culture et fusion de cellules végétales dans le 3ie projet n'est pas fréquente au Québec. Ici, cette démarche technique peut conduire à la propagation plus rapide des plantes désirables et au traitement de la vitrification des plants, et viser des applications à court ou moyen terme. Quatre diplômés sont issus de cette unité et un étudiant gradué assiste le chercheur dont le niveau de subvention est toutefois assez bas (comme cela s'avérera fréquent dans les secteurs à vocation non-médicale). Des collaborations extra-muros ont été développées par ce chercheur en France et à Agriculture Canada.

- Institut botanique (1 unité/ 1 chercheur)

: groupe de cultures de cellules:

32. "Multiplication végétative de Gerbera jamesonii et mutagénèse in vitro"
33. "Etude de l'organogénèse du tissu du cal de Picea pugens Engelmann"
34. "Multiplication végétative in vitro de souches rajeunies/assainies de Pelargonium reltatum par cultures de méristèmes caulinaires".

Orientées vers des applications immédiates du moins pour le 3e projet, ces recherches, bien subventionnées, sont pertinentes aux biotechnologies et sont menées par un chercheur actif sur le plan des publications, qui encadre quatre étudiants gradués, et s'est adjoint les collaborations de deux chercheurs de sa faculté et d'un chercheur de l'U.Q.A.M., madame Dubuc-Lebreux. On y envisage dans l'avenir l'établissement de cultivars de Gerbera pour la production commerciale et l'assainisssement ou le rajeunissement de Pelargonium.

Commentaires

Non seulement les activités en sciences biologiques sont fort peu développées mais on remarque, en plus, une dislocation des maigres effectifs et des efforts, dispersés sur deux campus différents, sans liens de collaboration intra-institutionnels.

- Ecole Polytechnique (2 unités/3 chercheurs)

: groupe de génie des procédés:

35. "Revalorisation des déchets des usines de pâtes et papiers"
36. "Revalorisation des déchets de cuir et de feutre"
37. "Valorisation du lacto-serum en réacteurs enzymatiques"
38. "Fermentation des liqueurs bi-sulfitiques des usines de pâtes et papiers"
39. "Décoloration des effluents des usines de pâtes et papiers".

Les cinq recherches de ce dernier groupe relèvent strictement de la biotechnologie dans un autre de ses volets: les technologies des fermentations, où les résolutions de problèmes biologiques sont approchées du point de vue de l'ingénierie. Les objectifs en sont de trouver des conditions de dégradation de certains déchets qui soient meilleures pour l'environnement de même que des utilités nouvelles pour les résidus: éthanol, alimentation animale, fructose, etc. Ce champ d'investigation est le même que celui de l'équipe de monsieur Valade à Trois-Rivières, particulièrement le projet 38. Toutes ces recherches visent des applications à court terme.

Les deux premiers projets (35 et 36) sont réalisés par un seul chercheur, productif en termes de publications mais qui n'a pas formé d'étudiants depuis cinq ans. De fortes subventions accordées en 1978 et en 1979, n'ont cependant pas été renouvelées après; elles avaient probablement été consenties pour une période déterminée.

Les recherches 37 à 39 sont effectuées par la seule unité de deux chercheurs de cette université (ou qui s'affiche comme telle) qui utilise, dans les processus de transformation, en plus des fermentations, les systèmes enzymatiques. Cinq diplômés en génie sont à leur actif depuis 1978 et cinq autres travaillent à ces projets actuellement, avec eux. Des collaborations se sont instaurées avec Michel Desrochers de l'U. de M. et de l'Institut canadien des pâtes et papiers.

Commentaires

En tout, cinq unités dans le secteur non-médical, effectuant dix projets de recherche appliquée, avec des subventions relativement peu élevées si on les compare au secteur médical et peu de liens créés avec l'industrie, bien qu'une expertise indispensable aux biotechnologies y soit développée.

## 1.4 CONCLUSION

La recherche en biotechnologie à l'université de Montréal se distingue d'abord par son caractère plus fondamental qu'appliqué et aussi par une concentration majeure des ressources dans les départements reliés au secteur médical (80%). Ses thèmes, ses filières d'application aussi bien que le développement des techniques de pointe sont investis par des préoccupations orientées vers la médecine et la santé, comme l'atteste d'ailleurs la provenance de la majorité des subventions des organismes externes (84%).

Les efforts spécifiques de formation que l'université se dit prête à consentir aux biotechnologies le seront à même les programmes d'enseignement et de recherches actuels, dans des disciplines considérées pertinentes aux biotechnologies par le comité. Une réflexion se poursuit toutefois sur la nécessité de structurer davantage ses programmes au 1er cycle comme aux cycles avancés.

La structure des recherches en biotechnologies se caractérise enfin par un éclatement des ressources en unités de petites tailles, où la collaboration départementale est limitée (à deux exceptions près), où les échanges interdépartementaux sont parcellaires et les liens de R-D avec l'industrie, rarissimes.

Malgré la présentation d'un assez bon nombre de projets de recherche basés sur l'utilisation ou le développement de techniques de pointe en biotechnologies, le comité ne voit pas une volonté très marquée de l'université de Montréal de développer les biotechnologies dans tout ce que ce développement peut signifier. Toutefois, son orientation vers les sciences fondamentales, l'excellente qualité de l'enseignement des biosciences qui y est dispensé - particulièrement en Microbiologie, Biochimie et Chimie - incitent le comité à reconnaître que l'université

de Montréal est et peut devenir un lieu privilégié de formation de base dans les sciences reliées au développement des biotechnologies. Il est cependant utile d'émettre quelques suggestions particulières afin de corriger certaines lacunes observées lors de l'examen du dossier.

Le département de Microbiologie de l'université de Montréal est un des plus importants au Québec en terme de taille et de compétences reconnues. Il a développé une expertise en science fondamentale orientée vers le secteur médical qui n'est pas négligeable (en classification, génétique, physiologie, etc). Il pourrait toutefois rendre des services plus spécifiques au développement de compétences en biotechnologies en consolidant ses activités, en renforçant la recherche et la formation en génétique et en physiologie microbiennes, pour lesquelles il détient déjà de bons atouts. Par ailleurs, ce département fait face, comme bien d'autres, au phénomène du vieillissement de son personnel. S'il veut conserver et renforcer son excellence en fondamental, il se devra d'être vigilant quant à la préparation de la relève et/ou au remplacement de son personnel mis à la retraite, par des professeurs chevronnés.

Aux yeux du Comité ad hoc, il y aurait aussi grand intérêt (biotechnologique) à démarginaliser le secteur de la microbiologie industrielle en y augmentant les activités et le personnel permanent. Une articulation de ses programmes de formation avec le 2e cycle que l'Institut Armand-Frappier est à mettre sur pied dans cette discipline constituerait un exemple de complémentarité, de rationalisation et de stratégie de formation que les limites en ressources humaines et financières nous incitent à suivre. Une seconde articulation de ces programmes (1er cycle et 2e cycle) pourrait être faite avec le Génie chimique à Polytechnique où, cependant, des assouplissements concernant les connaissances en mathématiques devraient être apportés pour les candidats provenant de Microbiologie.

Les préoccupations similaires des groupes de recherche en virologie à l'université de Montréal et à l'Institut Armand-Frappier - et qui se caractérisent par une complémentarité harmonieuse du fondamental et de l'appliqué - pourraient être l'occasion de projets conjoints en biotechnologies, comme celui de développer de nouvelles méthodes de fabrication de vaccins. De semblables projets conjoints pourraient aussi être développés entre le département de Microbiologie et l'équipe de Génie chimique de l'Ecole Polytechnique, pour les mêmes raisons. Il est étonnant de constater, d'autre part, que l'expertise développée en applications industrielles par le Centre d'innovation industrielle de Polytechnique n'ait pas davantage été mise à profit. Ce centre pourrait rendre des services dont on ne peut se passer en biotechnologies.

De plus, les relations du département de Microbiologie avec l'Institut de recherches cliniques mériteraient d'être consolidées par des activités conjointes ou des publications communes.

Enfin, des programmes de formation articulés pourraient aussi être établis entre le département de Chimie 1er cycle - qui dispense une bonne formation de base en chimie de synthèse organique - et celui du Génie chimique 2e cycle.

La qualité de la formation et de la recherche fondamentale en Biochimie est excellente et les étudiants bien encadrés. La faible interaction de ce dernier avec d'autres départements risque d'isoler les chercheurs et de compromettre la mise en oeuvre de projets de recherche complexes. Pour ne citer que cet exemple, des relations ténues se sont instaurées avec l'Institut du cancer: elles mériteraient d'être développées.

Une ouverture dans le département de Sciences biologiques a été faite à la culture des tissus; c'est de bon augure pour l'émergence de projets en biotechnologies. Cependant, là aussi, le renouvellement du personnel vieillissant va faire émerger le problème des remplacements sélectifs et ordonnés selon des objectifs de développement concerté. Si l'université veut conserver un leadership de qualité dans l'enseignement des biosciences, si elle veut favoriser le maintien de cette qualité dans les biosciences requises au développement des biotechnologies, il lui faudra orienter les nouvelles ressources dans les directions appropriées - comme on le dit plus haut - et les sciences biologiques ne sont pas les moindres parmi ces sciences de base; il lui faudra également donner une ossature à la recherche dans le secteur végétal.

Les suggestions émises plus haut ne nécessitent pas de bouleversements majeurs ni de structures supplémentaires. Elles peuvent être réalisées à l'intérieur des programmes existants; elles ne requièrent que volonté, souplesse, ouverture d'esprit et un sens éclairé de l'organisation de l'enseignement. Pour privilégier les interrelations départementales, il apparaît au comité que le Comité d'initiative de l'université de Montréal devant coordonner le développement des biotechnologies est tout désigné pour stimuler ces rapports, mieux les intégrer et guider les choix de profils d'études appropriées aux expertises recherchées en biotechnologies.

## Appendice A

### Université de Montréal

**Programmes et cours de 1er cycle à pertinence biotechnologique**

**Biochimie:**

| | |
|---|---|
| . Biochimie statique<br>Chimie des constituants de la matière vivante | BCM 1520 |
| . Introduction à la biochimie<br>Métabolisme intermédiaire. Enzymes. Co-enzymes.<br>Bio-énergétique. Travaux pratiques. | BCM 1530 |
| . Biochimie générale 1 | BCM 2522 |
| . Biochimie générale 2 | BCM 2523 |
| . Travaux pratiques de biochimie 1 | BCM 2524 |
| . Travaux pratiques de biochimie 2 | BCM 2525 |
| . Bibliographie biochimique | BCM 2611 |
| . Chimie physiologique | BCM |
| . Macromolécules biologiques | BCM 3521 |
| . Enzymologie | BCM 3530 |
| . Biophysique cellulaire<br>Membranes biologiques.<br>Bioluminescence.<br>Photosynthèse. | BCM 3540 |
| . Biochimie expérimentale<br>Travaux pratiques sur macromolécules.<br>Enzymnologie. Biophysique cellulaire. | BCM 3550 |
| . Biochimie clinique<br>Techniques de chimie clinique. | BCM 3561 |

**Microbiologie:**

| | |
|---|---|
| . Bactériologie et immunologie | MCB 1974 |
| . Microbiologie | MCB 1976 |
| . Microbiologie générale | MCB 1978 |
| . Résistance bactérienne aux antibiotiques | MCB 2202 |
| . Microbiologie générale | MCB 2956 |
| . Bactériologie générale | MCB 2981 |
| . Systématique microbienne | MCB 2982 |
| . Immunologie générale et immunochimie | MCB 2983 |
| . Microbiologie | MCB 2984 |
| . Microbiologie et parasites pathogènes | MCB 2988 |
| . Aspects cellulaires de l'immunologie | MCB 3963 |
| . Microbiologie industrielle | MCB 3987 |
| . Levures et organismes levuriformes | MCB 3989 |

Appendice A (suite)

| | |
|---|---|
| . Physiologie bactérienne | MCB 3991 |
| . Virologie générale | MCB 3994 |
| . Virologie générale | MCB 1104 |

Sciences biologiques:

| | |
|---|---|
| . Cytologie | Bio 1151 |
| . Physiologie cellulaire | Bio 1160 |
| . Génétique générale | Bio 1200 |
| . T.P. de génétique | Bio 1210 |
| . T.P. de génétique | Bio 1220 |
| . Phyciologie végétale | Bio 1530 |
| . Biologie moléculaire | Bio 2100 |
| . Nutrition et croissance de plantes | Bio 2540 |
| . Métabolisme végétal | Bio 2551 |
| . Biologie expérimentale<br>Extraction, séparation, dosages des composés d'origine biologique. | Bio 2553 |
| . Introduction aux microtechniques | Bio 3070 |
| . Génétique physiologique | Bio 3250 |
| . Les plantes utilisées par l'homme | Bio 3315 |
| . Nutrition animale | Bio 3640 |
| . Endocrinologie | Bio 3680 |
| . Phytopathologie | Bio 3780 |
| . Ecologie appliquée à la pollution | Bio 3891 |

Chimie:

| | |
|---|---|
| . Chimie organique 1<br>Fonctions simples de la chimie organique. | CHM 1310 |
| . Chimie organique<br>Cours d'introduction. Groupements fonctionnels. Identification des substances organiques. | CHM 1982 |
| . Chimie organique<br>Cours spécifique donné aux étudiants de Biologie | CHM 1983 |
| . Chimie expérimentale<br>Techniques fines d'extraction et de purification des substances organiques naturelles. | CHM 1985 |
| . Physico-chimie générale<br>Introduction à la chimie physique dans l'optique des sciences de la vie. | CHM 1993 |

Appendice A (suite)

| | |
|---|---|
| . Physico-chimie générale<br>Cours destiné aux étudiants de Biochimie. Travaux pratiques. | CHM 1996 |
| . Identification des substances organiques | CHM 2310 |
| . Chimie organique 2 | CHM 2361 |
| . Physico-chimie générale<br>Cours destiné aux étudiants de Biochimie. | CHM 2996 |
| . Chimie des produits naturels | CHM 3381 |
| . Introduction à la chimie macromoléculaire | CHM 3470 |
| . Biopolymères: structures et fonctions | CHM 3831 |

Génie chimique (Ecole polytechnique):

| | |
|---|---|
| . Génie biochimique | 4.400 |

Nutrition:

| | |
|---|---|
| . Technologie alimentaire 1 | NUT 1011 |
| . Chimie alimentaire<br>Propriétés physico-chimiques des constituants alimentaires. Groupements fonctionnels affectant la qualité des aliments. T.P. | NUT 2012 |
| . Analyse alimentaire 1<br>Analyse qualitative et quantitative... des constituants alimentaires. | NUT 1015 |
| . Analyse alimentaire 2 | NUT 3015 |
| . Science de l'alimentation | NUT 1010 |

## Appendice B

Université de Montréal

### Liste des organismes subventionnaires

| | | |
|---|---|---|
| C.R.M. | : | Conseil de la recherche médicale (Canada) |
| I.N.C. | : | Institut national du cancer |
| N.C.I. | : | National Cancer Institute |
| I.R.C. | : | Institut de recherche sur le cancer |
| S.R.C. | : | Société de recherche sur le cancer |
| C.R.S.N.G. | : | Conseil de la recherche en sciences naturelles et en génie (Canada) |
| F.R.S.Q. | : | Fonds de recherche en santé du Québec |
| C.N.R. | : | Conseil national de la recherche (Canada) |
| F.C.M.R. | : | Fondation canadienne des maladies du rein |
| C.R.S.A.Q. | : | Conseil de la recherche en sciences agricoles du Québec |
| F.C.M.C. | : | Fondation canadienne des maladies du coeur |
| D.G.E.S. | : | Direction générale de l'enseignement supérieur, ministère de l'Education |
| F.C.A.C. | : | Fonds pour la formation de chercheurs et action concertée |

PARTIE II

## 2. UNIVERSITÉ LAVAL

### 2.1 DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES DONNÉES

L'université Laval a présenté au Comité sur la formation en biotechnologie du Conseil des universités un volumineux dossier en cinq parties:

A. La place des biotechnologies à l'université Laval.
B. Les programmes de premier cycle pouvant mener à des études supérieures dans un des domaines de la biotechnologie.
C. Les programmes d'études supérieures en biotechnologie.
D. Fréquentation étudiante et diplômation aux cycles avancés.
E. Les unités de recherche en biotechnologie.
F. L'organisme central spécifique.

#### La place des biotechnologies à l'université Laval

Au moment de l'enquête, le plan directeur triennal 1983-1986 était en cours d'élaboration. Il est cependant possible pour la direction de l'université d'affirmer «son intention de participer au maximum au développement de la recherche en biotechnologies et à jouer un rôle de premier p'an au Québec en la matière» (cf. document A p. 2).

Dans cette perspective, l'université continuera d'abord d'accorder priorité au développement de la recherche et des études avancées. Ses réalisations récentes en génie génétique de même que ses travaux sur les cultures de tissus et l'application des symbioses à la nutrition des végétaux sont pour elle le résultat normal du travail de base poursuivi par ses chercheurs au cours des dernières années.

Son appui particulier au développement prioritaire de la biotechnologie se manifestera particulièrement en favorisant:

- la poursuite des travaux de recherche fondamentale,
- la formation des experts spécialisés nécessaires,
- la recherche de modalités nouvelles de transfert de technologie (mise sur pied de nouvelles entreprises vouées à l'exploitation commerciale des résultats de recherche, dans certains cas), et

- en maintenant, malgré des contraintes budgétaires difficiles, son Programme de promotion sélective de la recherche, où elle consacrera prioritairement des fonds à la biotechnologie.

Selon le document, «la mission exclusive au Québec de la faculté de Foresterie et de Géodésie, le rôle unique au Canada français de la faculté des Sciences de l'agriculture et de l'alimentation, de même que l'intensité des activités à la faculté des Sciences et de génie, à la faculté de Médecine et au Centre de nutrition tracent pour le rôle de l'université Laval un profil caractérisé par l'étendue du spectre des biotechnologies qu'il recouvre et par la focalisation en profondeur autour de quelques points du spectre tels le génie génétique, les fermentations et les symbioses» (cf. p. 1).

Les programmes de premier cycle pouvant mener à des études supérieures dans un des domaines de la biotechnologie.

L'université énumère les cours de son annuaire qu'elle juge opportuns à la formation en biotechnologie dans les programmes suivants:

- Biochimie/microbiologie,
- Biologie,
- Génie chimique,
- Sciences de l'agriculture et de l'alimentation.

Elle mentionne en outre la pertinence du programme de génie forestier qui donne accès à la maîtrise en Écologie et Pédologie forestières et celui naissant de la Technologie du bois qui donnera accès à la maîtrise en sciences du bois. On trouvera la liste de ces programmes et cours en Appendice A. À noter que l'université stipule les pré-requis nécessaires aux candidats aux 2e et 3e cycles en génie chimique n'ayant pas de formation dans ce domaine.

Les programmes d'études supérieures en biotechnologie

Pour chacun des programmes d'études avancées suivants, jugés pertinents, par l'université, à la formation en biotechnologie, l'université décrit soit les exigences spécifiques (que l'on retrouve dans les annuaires), soit les cours spécifiques, ou nommé tout simplement les programmes les plus contigüs à cette formation:

Faculté de Sciences et génie

. Biochimie:
. Microbiologie:
- programmes de 2e et 3e cycles
- cours spécifiques en génie génétique:
  - . techniques en génie génétique — BCM 63174
  - . progrès récents en microbiologie — MCB 63275
  - . introduction à la biotechnologie — STC 63360 (groupe de professeurs)

. Biologie:
- programmes de 2e et 3e cycles
- cours spécifiques:
  - . génétique moléculaire — BIO 60110
  - . séminaire de biologie moléculaire I — BIO 60125
  - . séminaire de biologie moléculaire II — BIO 60126
  - . aquiculture — BIO 63296

. Génie chimique:
- programmes de 2e et 3e cycles
- cours spécifiques pour:
  - . étudiants avec formation en génie:
    BCM 10004 et BCM 10016
    MCB 10017 et MCB 10018
  - . étudiants avec formation en sciences pures
    GCH 10145, GCH 10153, GCH 10156
    (i.e. 2 à 3 trimestres supplémentaires)

Faculté de Foresterie et Géodésie

. Écologie et pédologie forestières:
  - programmes de 2e et 3e cycles
  - cours spécifiques en symbiose végétale

. Sciences du bois:
  - sans cycles supérieurs mais auxquels se rattachent les programmes de recherche en biodégradation et en biotransformation du bois.

Faculté des Sciences de l'agriculture et de l'alimentation

. Sciences et technologie des aliments, Sols, Biologie végétale, Zootechnie:
  - programmes de 2e et 3e cycles
  - admission directe (avec scolarité de maîtrise) au 3e cycle pour l'étudiant qui a fait preuve d'aptitude à la recherche
  - cours spécifiques:

| | |
|---|---|
| . enzymes et vivres | STA 60947 |
| . fermentations I | STA 60952 |
| . biochimie de l'humus | SLS 63067 |
| . cytogénétique | BVG 60039 |
| . amélioration génétique des plantes | BVG 60667 |
| . mycologie | BVG 60675 |
| . virologie végétale | BVG 61766 |
| . physiologie des champignons | BVG 60681 |

Faculté de Médecine

. Biochimie:
. Physiologie:
  - programmes considérés assez près des préoccupations en biotechnologie.

Fréquentation étudiante et diplômation aux cycles avancés

Pour la majorité de ces programmes, et pour certains cours spécifiques, l'université Laval indique la fréquentation étudiante et, quelquefois, le nombre de diplômés. Nous relatons ici ces données, bien qu'incomplètes, aux tableaux 1 et 2.

TABLEAU 1

NOMBRE D'ÉTUDIANTS INSCRITS EN 1982, SELON LES FACULTÉS, LES PROGRAMMES (ET LES COURS SPÉCIFIQUES DANS CERTAINS CAS)

| Faculté | Programmes / Cours spécifiques | Nombre d'étudiants inscrits M.Sc. / Ph.D. |
|---|---|---|
| Sciences et génie | . Biochimie/Microbiologie | 21 / 9 |
| | (génie génétique) | 8 / 7 |
| | . Génie chimique | 7 / 3 |
| Foresterie | . Écologie/Pédologie | 8 / 10 |
| Agriculture et alimentation | . Sc. + techn. aliments<br>. Sols<br>. Biologie végétale<br>. Zootechnie | 13 / 6 |
| Médecine | . Biochimie et physiologie | 9 / 9 |
| TOTAL | | 66 / 44 |

TABLEAU 2

NOMBRE D'ÉTUDIANTS DIPLÔMÉS DE 1980 À 1982, SELON LES FACULTÉS, LES PROGRAMMES (ET LES COURS SPÉCIFIQUES)

| Faculté | Programmes/ Cours spécifiques | 1980 M.Sc./Ph.D. | 1981 M.Sc./Ph.D. | 1982 M.Sc./Ph.D. |
|---|---|---|---|---|
| Sciences et génie | . Biochimie/ Microbiologie | ND | ND | ND |
| | . (Génie génétique) | - - | - - | 2 - |
| | . Génie biochimique | 2 - | 1 - | 1 - |
| Foresterie | . Écologie/Pédologie | 1 1 | - - | - 2 |
| Agriculture et alimentation | . Sc. + tech. alim.<br>. Sols<br>. Biologie végétale<br>. Zootechnie | - 1 | 1 1 | 12* 1* |
| Médecine | . Biochimie et Physiologie | 3 1 | 1 2 | 15 3 |
| TOTAL | | 6 / 2 | 2 / 2 | 30 / 6 |

* Diplômés de 1978 à 1982 pour les quatre programmes.

## Les unités de recherche en biotechnologie

L'inventaire des travaux de recherche en biotechnologie soumis par l'université Laval, ses centres de recherche intra-muros et ceux de ses hôpitaux affiliés fournit des réponses assez exhaustives à la grille d'enquête. Il présente les unités de recherche sous 12 appellations différentes qui renvoient soit à des champs d'activités, soit à des techniques afférentes aux biotechnologies.

Présentées selon ce classement, 18 unités de recherche composées de 64 chercheurs répartis dans 12 départements, laboratoires et centres de recherche différents effectuent des travaux de recherche en biotechnologie. Le tableau 3 suivant donne une vue d'ensemble de cet inventaire tel que présenté par l'université qui cumule, de fait, 61 personnes.

TABLEAU 3

LES UNITÉS DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE

| Activités/Techniques | Département | Faculté | Chercheur principal | No. total de chercheurs |
|---|---|---|---|---|
| 1. Biotechnologie forestière | Écologie/ Pédologie | Foresterie et Géodésie | Fortin | 5 |
| 2. Génie génétique | Biochimie | Sc. et génie | Bellemare<br>Lapointe<br>Roy | 2<br>4<br>2 |
| 3. Fermentations industrielles | Génie chimique<br>Sc. et technique des aliments | Sc. et génie<br>Agriculture et Alimentation | Le Duy<br>Simard<br>Goulet | 4<br>3<br>4 |
| 4. Recyclage biologique et aquiculture | Biologie (et Centre de R) | Sc. et génie | de la Noue | 7 |
| 5. Endocrinologie moléculaire | Physiologie + Labo. endoc. | Médecine | Labrie | 4 |
| 6. Oncologie cellulaire et moléculaire | Biochimie | Médecine | Bélanger | 10 |
| 7. Neurobiologie | Labo. Neurobiologie, Hôp. Enfant-Jésus | Médecine | Poirier | 2 |
| 8. Génétique moléculaire et oncologie expérim. | Médecine<br>Biochimie<br>Microbiologie | Médecine<br>Médecine<br>Médecine | Tanguay<br>Pagé<br>Joly | 4<br>1<br>1 |
| 9. Fixation biologique de l'azote atmosphérique | Sols | Agriculture et Alimentation | Antoun | 3 |
| 10. Virologie et biologie moléculaires végétales | Phytologie | Agriculture et Alimentation | Asselin | 2 |
| 11. Culture de tissus végétatifs | Phytologie | Agriculture et Alimentation | Dion | 1 |
| 12. Culture d'anthères | Phytologie | Agriculture et Alimentation | Pauzé | 5 |

L'ordre de présentation de cet inventaire des ressources et des activités de recherche comporte quelques inconvénients: il ne permet pas, entre autres, d'identifier rapidement le niveau d'activités facultaire et départemental et de voir la distribution des thèmes ou techniques regroupés. Le tableau 4 présente les unités regroupées selon la faculté, le département et le thème d'activité. Il ressort ainsi plus clairement où sont polarisées les activités en biotechnologie relevées par l'université elle-même.

TABLEAU 4

LES UNITÉS DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE PAR FACULTÉ

| Faculté | Département | Activités/Techniques | Chercheur princ. | |
|---|---|---|---|---|
| Foresterie et Géodésie | Écologie/Pédologie | Biotechnologie forestière | Fortin | 5* |
| Sciences et Génie | Biochimie | Génie génétique | Bellemare | 2 |
| | | | Lapointe | 4 |
| | | | Roy | 2 |
| | Biologie (+CRN) | Recyclage biol. + aquiculture | de la Noue | 7 |
| | Génie chimique | Fermentations industrielles | Le Duy | 4 |
| Agriculture et Alimentation | Sc. et technologie des aliments | Fermentations industrielles | Simard | 3 |
| | | | Goulet | 4 |
| | Sols | Fixation de l'azote | Antoun | 3 |
| | Phytologie | Virologie + biologie moléc. | Asselin | 2 |
| | | Culture de tissus | Dion | 1 |
| | | Culture d'anthères | Pauzé | 5 |
| Médecine | Physiologie (Labo. Endo.) | Endocrinologie moléculaire | Labrie | 4 |
| | Biochimie | Oncologie cellulaire + moléculaire | Bélanger | 10 |
| | | | Pagé | 1 |
| | Microbiologie | Oncologie expérimentale | Joly | 1 |
| | Hôp. Enfant-Jésus | Neurobiologie | Poirier | 2 |
| | Médecine | Génétique moléculaire | Tanguay | 4 |

* Nombre total de chercheurs de l'équipe sans compter les étudiants.

L'organisme central spécifique

Le Comité des biotechnologies de l'université Laval regroupe, comme il était à prévoir, des représentants des quatre facultés mentionnées dans le tableau 4 (Foresterie, Sciences et génie, Agriculture, Médecine) et aussi du Centre de recherche en nutrition.

Le mandat de ce comité est aussi pertinent que sans équivoques:

- promouvoir le développement dans le secteur des biotechnologies;
- permettre la réalisation du potentiel de Laval dans ce secteur;
- faciliter les échanges et la collaboration entre les départements et les facultés;
- assurer la participation maximale de Laval aux programmes de subventions des organismes externes;
- définir les lignes d'action souhaitables pour l'université;
- faire en sorte qu'apparaissent les objectifs de développement des biotechnologies dans les plans directeurs triennaux à tous les niveaux.

Ce comité, consultatif au vice-recteur à l'enseignement et à la recherche, jouit d'une certaine capacité d'initiative relativement à son mandat: celle de mettre sur pied des comités, d'effectuer des bilans, d'organiser des consultations, etc., mandat et pouvoirs convergents aux priorités que l'université s'est données quant au développement de la biotechnologie.

Commentaires

L'intérêt que porte l'université Laval au développement de la biotechnologie se manifeste de plusieurs manières. D'abord, dans sa volonté de développer la recherche et les études avancées; puis dans certaines activités de recherche et d'enseignement très reliées à la biotechnologie,

comme le génie génétique, la culture de tissus, la symbiose végétale et les fermentations; enfin, dans l'intention qu'elle affiche de favoriser le transfert technologique à l'industrie, bien qu'elle n'élabore pas sur les moyens qu'elle prendra pour atteindre cet objectif. En effet, le cours d'introduction à la biotechnologie était bien fréquenté à l'automne 1982 ainsi que celui sur les techniques de génie génétique à l'hiver 1983, pour ne citer que ces deux exemples.

Par contre, ses activités de recherche en biotechnologie sont passablement dispersées bien que la moitié de ses équipes regroupe au moins quatre chercheurs. Un deuxième constat est à l'effet que la plus grande partie de ses activités ont lieu dans le secteur non-médical (12 équipes sur 18, 42 chercheurs sur 64), ce qui est plutôt exceptionnel, comme on le verra tout au long de ces analyses.

Le portrait des tendances dégagé au point suivant tente précisément de tracer une image plus précise des lignes de force de cette université.

## 2.2 PORTRAIT DES TENDANCES

Sous cette rubrique, on essaiera de dégager, en utilisant un certain nombre de variables d'analyse, les tendances qui se dégagent à l'occasion d'un examen plus approfondi des données descriptives fournies par l'université sur les unités de recherche.

### Les domaines des recherches en biotechnologie

En un premier aperçu, on verra la répartition des unités de recherche selon la faculté et le département auxquels sont rattachées ces unités. Cette démarche permettra d'entrevoir dans quels secteurs sont menées les activités de recherche en biotechnologies.

TABLEAU 5

RÉPARTITION DES UNITÉS ET DES CHERCHEURS SELON LES FACULTÉS

| Faculté | Département | No. unités | % | Regroupement en % | No. total cherch. | % | Regroupement en % | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sciences et Génie | Biochimie | 3 | 16,7 | 22,3 | 8 | 12,5 | 18,8 | |
| | Génie chimique | 1 | 5,6 | 27,9 | 4 | 6,3 | 29,7 | |
| | Biologie et Ctre de nutrit. | 1 | 5,6 | | 7 | 10,9 | | |
| Agriculture | Sc. Tech. des aliments | 2 | 11,1 | 39,0 | 7 | 10,9 | 39,0 | 65,6 |
| | Sols | 1 | 5,6 | 33,4 | 3 | 4,7 | 28,1 | |
| | Phytologie | 3 | 16,7 | | 8 | 12,5 | | |
| Foresterie | Écologie/ Pédologie | 1 | 5,6 | 5,6 | 5 | 7,8 | 7,8 | |
| Médecine | Physiologie (Labo. Endocrinol.) | 1 | 5,6 | | 4 | 6,3 | | |
| | Biochimie | 2 | 11,1 | | 11 | 17,2 | | |
| | Microbiologie | 1 | 5,6 | 33,5 | 1 | 1,6 | 34,5 | 34,5 |
| | Neurobiologie (Hôp. Enf. Jés.) | 1 | 5,6 | | 2 | 3,1 | | |
| | Médecine | 1 | 5,6 | | 4 | 6,3 | | |
| | | 18 | 100,0 | | 64 | 100,0 | | 100,0 |

La première constatation est que l'essentiel des énergies déployées en biotechnologie est ailleurs que dans le secteur médical. En effet, le regroupement des secteurs autres que médicaux montre que près des deux tiers des énergies vont dans les développements, grosso modo, des symbioses végétales, du génie génétique, des fermentations industrielles, du recyclage biologique, de la culture de tissus, etc.

La double accolade qui regroupe différemment sciences & génie et agriculture résulte du fait que le groupe de Monsieur de la Nouë, rattaché nominalement au département de biologie, exerce de fait ses activités au Centre de nutrition rattaché administrativement à la faculté d'Agriculture. Cette deuxième répartition nous permet d'observer que c'est en agriculture que le nombre des unités et des chercheurs est le plus élevé, selon l'université, que l'activité biotechnologique est la plus intense.

Si l'on avait de plus la tentation d'ajouter aux pourcentages reliés aux activités de la faculté d'Agriculture, ceux de Foresterie où les domaines d'activités sont connexes, on arriverait à un pourcentage de 44,5% d'activités au niveau du nombre d'unités de recherche, et à 46,8% en ce qui a trait au nombre de chercheurs qui oeuvrent dans les domaines de l'agriculture et de la foresterie. Ce premier aperçu n'est toutefois avancé qu'à titre indicatif, sans égard à une évaluation plus approfondie des activités de recherche.

## Les filières d'application en biotechnologie

Comme nous l'avons déjà mentionné, notre enquête requérait de pointer, sur une liste de possibilités, les filières d'application éventuelles des recherches en cours. Comme on le sait, ces activités visent souvent plus d'une filière à la fois. Le tableau 6 montre comment se répartissent les 30 mentions de filières d'application relevées chez les 18 unités de recherche.

TABLEAU 6

| RÉPARTITION DES FILIÈRES D'APPLICATION VISÉES PAR LES PROJETS | | | |
|---|---|---|---|
| Filières d'application | No. de mentions | % de Répartition | % de Regroupement |
| Agriculture | 9 | 30,0 | |
| Foresterie | 3 | 10,0 | 46,6 |
| Horticulture | 2 | 6,6 | |
| Industrie biochimique | 2 | 6,7 | |
| Traitement des déchets ... | 2 | 6,7 | 30,1 |
| Énergie et agro-alimentaire | 5 | 16,7 | |
| Santé | 7 | 23,3 | 23,3 |
| Total | 30 | 100,0 | 100,0 |

Ce que ce tableau met en valeur c'est la multiplicité, hors de la filière santé, des visées d'application des recherches, d'abord en agriculture, en agro-alimentaire ensuite, puis en foresterie (eu égard au nombre de projets) et ainsi de suite, que ces activités s'exercent dans les techniques du génie génétique, de la biotechnologie forestière, des fermentations industrielles ou de la culture de tissus, etc.

Les réalisations/produits envisagés

Ici aussi, plusieurs réalisations/produits peuvent faire l'objet d'un seul projet de recherche. L'inventaire des mentions de réalisations envisagées nous permet de voir où sont polarisés les objectifs d'application des recherches.

TABLEAU 7

| RÉALISATIONS/PRODUITS ENVISAGÉS EN RELATION AVEC LES SECTEURS «BIOTECHNOLOGIQUES» ET LES FILIÈRES D'APPLICATION | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Secteurs | Réalisations/ Produits envisagés | No. de mentions | % | Filières d'application |
| Biotechnologie * forestière<br>Génie génétique<br>Biotechnologie * agricole | Renouvellement des techniques agricoles, horticoles et forestières | 8 | 30,8% | Agriculture<br>Horticulture<br>Foresterie |
| Génie génétique<br>Fermentations industrielles (et recyclage biologique, aquiculture) | Utilisation des biomasses à des fins énergétiques.<br>Production de protéines. | 8 (50%) | 30,8% | Foresterie<br>Agriculture<br>Agro-alimentaire<br>Énergie |
| | Biotraitement des pollutions.<br>Produits chimiques et biologiques | 5 | 19,2% | Traitement des déchets et des eaux usées<br>Industrie chimique |
| Biotechnologie * médicale (endocrinologie, molécule, génétique moléculaire, oncologie cellulaire et moléculaire, oncologie expérimentale | Produits diagnostiques | 5 | 19,2% | Santé |
| | | 26 | 100,0% | |

* Le mot «biotechnologie» est ici utilisé par commodité et non pour signaler la pertinence biotechnologique des activités.

En effet, il paraît clair que cette université se caractérise par ses activités en agriculture, foresterie et fermentations qui, alliées aux recherches en génie génétique, occupent le principal champ (80,8%) des préoccupations d'application:

- renouvellement des techniques agricoles, horticoles et forestières,
- utilisation de la biomasse à des fins énergétiques,
- production de protéines d'origine monocellulaire,
- biotraitement des pollutions,
- produits chimiques et biologiques.

La notion «d'applications» mérite toutefois quelques éclaircissements. Dans le tableau suivant, on qualifie la recherche de l'ensemble des projets en termes de: «fondamentale», «fondamentale-appliquée» et «appliquée». Ce qu'il s'agit là d'établir, ce sont des statistiques globales sur l'orientation des recherches à plus ou moins long terme: soit qu'elles visent à instrumenter la recherche de nouveaux outils ou à effectuer des découvertes pour lesquelles on ne prévoit pas, pour l'instant, d'applications pratiques ou à caractère industriel; dans ce cas, nous la qualifierons de «fondamentale»; soit qu'elles tendent vers des applications possibles, «fondamentale-appliquée», ou soit qu'elles visent des applications industrielles immédiates sur une plus ou moins grande échelle, elle sera appelée alors «appliquée». L'objectif de ce tableau 8 consiste à connaître les tendances des recherches en cours, en termes d'orientations.

TABLEAU 8

RÉPARTITION DE L'ENSEMBLE DES PROJETS DE RECHERCHE SELON LEUR ORIENTATION VERS DES APPLICATIONS

| Caractère de la recherche | No. de projets | % | Regroupements % |
|---|---|---|---|
| Recherche fondamentale | 2 | 11,1 | 66,7 |
| Recherche fondamentale-appliquée | 10 | 55,6 | 88,9 |
| Recherche appliquée | 6 | 33,3 | |
| | 18 | 100,0 | |

La recherche appliquée dans l'immédiat recouvre le tiers des projets, ceux en particulier de fermentations industrielles, de fixation de l'azote et de culture d'anthères. Par ailleurs, comme la recherche «fondamentale-appliquée» prévoit aussi des applications éventuelles, à plus ou moins long terme, on pourrait affirmer qu'une très grande partie des recherches (88%) est orientée vers des applications à l'université Laval. D'un autre point de vue, celui de la biotechnologie prise au sens restreint du terme, il n'y en a que le tiers qui peut être qualifié, à proprement parler, de biotechnologique.

Les techniques utilisées et/ou développées

Le propos du tableau 9 est d'identifier quelles sont les techniques afférentes à la biotechnologie, développées ou utilisées par les chercheurs de cet établissement. Le fait d'avoir réparti les 86 mentions de techniques par filières d'application aidera à mettre en relation ces deux éléments et à préciser l'image laissée par les tableaux 6 et 7.

Ce qui émerge en premier de l'observation de cette compilation croisée, c'est la prépondérance de la culture de cellules en santé, puis de celle du génie génétique et de la sélection de souches en agriculture et enfin, celle des fermentations en agriculture et du génie génétique en en santé.

Pour se donner, de cet aspect de la question, une image plus globale et plus succincte, on affirme que cinq techniques (sur neuf) y sont notamment plus développées et ce, dans quatre filières d'application privilégiées; ce sont:

- la culture de cellules en santé, en agriculture;
- la sélection de souches en agriculture et en foresterie;
- le génie génétique en agriculture, santé et horticulture;
- les fermentations en agriculture et en agro-alimentaire;
- l'extraction et la purification en agriculture.

**TABLEAU 9**

| LES TECHNIQUES UTILISÉES ET/OU DÉVELOPPÉES SELON LES FILIÈRES D'APPLICATION | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FILIÈRES / TECHNIQUES | Agri-culture | Santé | Fores-terie | Horti-culture | Industrie biochimique | Traitement déchets | Énergie | Agro-alimentaire | TOTAL |
| Sélection de souches | 5 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | : 17<br>19,8% |
| Technologies des fermentations | 4 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | : 15<br>17,4% |
| Génie génétique | 5 | 4 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | : 14<br>16,3% |
| Culture de cellules | 3 | 6 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | : 12<br>14,0% |
| Procédés d'extraction et de purification | 3 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | : 10<br>11,6% |
| Génie biochimique | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | : 9<br>10,5% |
| Fusion cellulaire | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | : 5<br>5,8% |
| Production d'anticorps monoclonaux | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | : 4<br>4,6% |
| Procédés enzymatiques | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | : 0<br>0 % |
| TOTAL | 23<br>26,7% | 17<br>19,8% | 12<br>14,0% | 7<br>8,1% | 7<br>8,1% | 7<br>8,1% | 7<br>8,1% | 6<br>7,0% | : 86<br>100,0% |

68,6%

79,1%

Les quatre filières qui recueillent plus des deux tiers des mentions sont l'agriculture, la santé, la foresterie et l'horticulture.

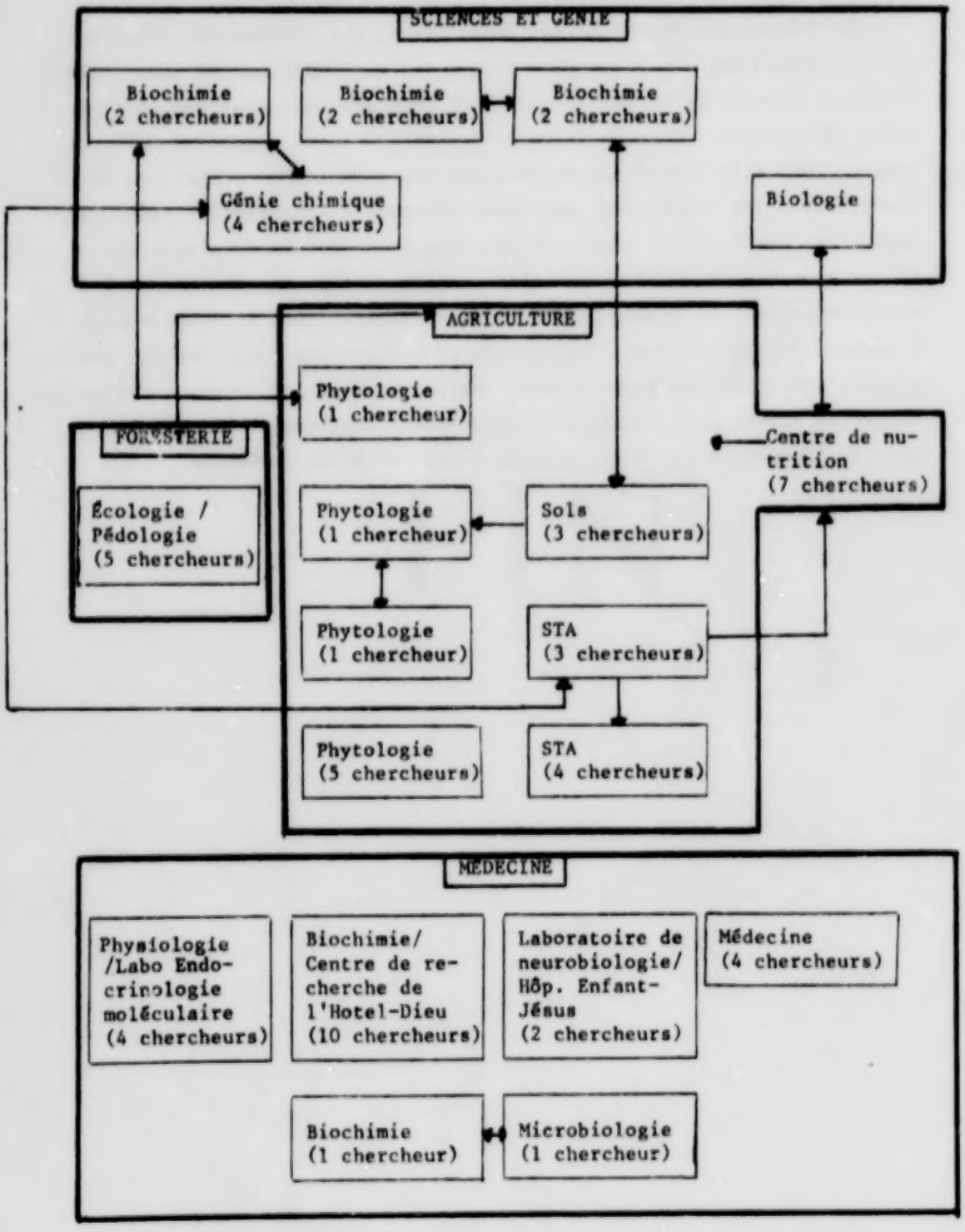
Avec cette dimension supplémentaire des techniques se confirment les tendances évoquées aux tableaux 6 et 7 sur les filières développées à Laval.

Les interrelations/échanges départementaux

La convergence des efforts des différents départements apparaît au comité un élément positif pouvant favoriser le développement de nouvelles technologies, surtout dans un secteur comme celui de la biotechnologie où l'interdisciplinarité est essentielle à la fécondité. Le schéma suivant vise non seulement à identifier si de telles interrelations existent à l'université Laval mais aussi à mettre de nouveau en valeur l'importance de la focalisation sur les domaines de l'agriculture (34 chercheurs s'y intéressent), de la santé (22 cherc.), des fermentations industrielles (génie chimique, STA, centre de nutrition) (14 cherc.) et de la foresterie (5 cherc.) en ordre d'importance.

TABLEAU 10

RELATIONS INDERDÉPARTEMENTALES ET INTERFACULTAIRES EN BIOTECHNOLOGIE



Les subventions de recherche

Un relevé, par équipe et par département, des subventions accordées aux chercheurs par les principaux organismes subventionnaires sert d'indicateur de premier ordre de la caution obtenue des pairs par ces chercheurs et/ou ces équipes. Dans le cas de l'université Laval cependant cet indicateur devra être nuancé par le fait que les subventions citées par cet établissement ne constituent pas nécessairement l'ensemble des subventions reçues par les équipes. Dans certains cas du moins, il ne s'agit que de la fraction des subventions pour les projets cités comme pertinents à la biotechnologie. Il faudra garder cette caractéristique à l'esprit dans l'analyse des subventions. Le tableau 11 retrace les fonds obtenus pour l'année 1981-1982, en guise d'année-témoin, établit les totaux et la moyenne par chercheur pour chacun des départements impliqués, bref, présente une vue d'ensemble des fonds alloués à ces unités de recherche.

## TABLEAU 11

RÉPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 1981-1982, PAR ÉQUIPE ET PAR DÉPARTEMENT OU CENTRE, EN $

| FACULTÉ/département ou centre | Chercheur principal | CRSNG | FCAC | CRSAQ | AGRI. CANADA | U. LAVAL | CRM | FRSQ | INC | IRDA | Autres | Total | Moyenne par chercheur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FORESTERIE-GÉODÉSIE | | | | | | | | | | | | | |
| Écologie-pédologie (5/5 chercheurs) | Fortin | 179 484[1] | 120 000 | | | 10 000 | | | | | 73 995 | | |
| Total, FACULTÉ et dpt. | 1 équipe | 179 484[1] | 120 000 | | | 10 000 | | | | | 73 995 | 383 479 | 76 696 * |
| SCIENCES ET GÉNIE | | | | | | | | | | | | | |
| Biochimie (8/8 chercheurs) | Bellemare | 24 154[2] | 28 900[1,2] | | 8 000 | 3 000[3] | | | | | | | |
| | Lapointe | 27 250[1] | 18 700[3] | | | | | | | | | | |
| | Roy | 16 909 | | | | | | | | | | | |
| | Sous-total | 68 313 | 47 600 | | 8 000 | 3 000 | | | | | | 126 913 | 15 864 ** |
| Biologie (Centre de nutrition (7/2 chercheurs) | de la Noue | 14 888 | 27 130[1] | 23 300 | 5 330 | 13 300 | | | | | 21 600 | | |
| | Sous-total | 14 888 | 27 130[1] | 23 300 | 5 330 | 13 300 | | | | | 21 600 | 105 548 | 52 774 * |
| Génie chimique (4/4 chercheurs) | Le Duy | 86 144 | 12 700[1] | | | | | | | | 19 000 | | |
| | Sous-total | 86 144 | 12 700[1] | | | | | | | | 19 000 | 117 844 | 29 461 * |
| Total, FACULTÉ | 5 équipes | 169 345 | 87 430 | 23 300 | 13 330 | 16 300 | | | | | 40 600 | 350 305 | 25 022 *** |

TABLEAU II (suite 1)

RÉPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 1981-1982, PAR ÉQUIPE ET PAR DÉPARTEMENT OU CENTRE, EN $

| FACULTÉ/département ou centre | Chercheur principal | CRSNG | FCAC | CRSAQ | AGRI. CANADA | U. LAVAL | CRM | FRSQ | INC | IRDA | Autres | Total | Moyenne par chercheur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AGRIC-ALIMENTATION | | | | | | | | | | | | | |
| Sc. et technologie des aliments (7/7 chercheurs) | Simard | 39 500[4] | | | 8 500[4] | | | | | | 10 500[4] | | |
| | Goulet | | | 38 000 | | | | | | | 10 000 | | |
| | Sous-total | 39 500 | | 38 000 | 8 500 | | | | | | 20 500 | 106 500 | 15 214 ** |
| Sols (3/3 chercheurs) | Antoun | 9 000 | | 17 300[1] | | | | | | | | | |
| | Sous-total | 9 000 | | 17 300[1] | | | | | | | | 26 300 | 8 767 ** |
| Phytologie (8/8 chercheurs) | Asselin | 3 000 | | 28 000 | | | | | | | | | |
| | Dion | 10 000 | | 12 000 | 7 500 | | | | | | | | |
| | Pauzé | 4 667[5] | | | | | | | | | | | |
| | Sous-total | 17 667 | | 40 000 | 7 500 | | | | | | | 65 167 | 8 146 ** |
| Total, FACULTÉ | 6 équipes | 66 167 | | 95 300 | 16 000 | | | | | | 20 500 | 197 967 | 10 998 ** |
| Total SECTEUR NON-MÉDICAL | 42 cherch. | 414 996 | 207 430 | 118 600 | 29 330 | 26 300 | | | | | 135 095 | 931 751 | 25 183 *** |

## TABLEAU 11 (suite 2)

RÉPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 1981-1982, PAR ÉQUIPE ET PAR DÉPARTEMENT OU CENTRE, EN $

| FACULTÉ/département ou centre | Chercheur principal | CRSNC | FCAC | CRSAQ | AGRI. CANADA | U. LAVAL | CRM | FRSQ | INC | IRDA | Autres | Total | Moyenne par chercheur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MÉDECINE | | | | | | | | | | | | | |
| Physiologie (4/4 chercheurs) | Labrie | | | | | | 19 225[6] | | | | | | |
| | Sous-total | | | | | | 19 225 | | | | | 19 225 | 4 806 ** |
| Biochimie (11/11 chercheurs) | Bélanger | | | | | | 264 000 | 454 000 | 140 000 | | 57 000 | | |
| | Pagé | | | | | | | | 31 662 | 52 943 | | | |
| | Sous-total | | | | | | 264 000 | 454 000 | 171 662 | 52 943 | 57 000 | 999 605 | 90 873 * |
| Microbiologie (1/1 chercheur) | Joly | | | | | | | 41 000 | | | | | |
| | Sous-total | | | | | | | 41 000 | | | | 41 000 | 41 000 * |
| Neurobiologie (2/2 chercheurs) | Poirier | | | | | | 68 638[4] | | | | | | |
| | Sous-total | | | | | | 68 638 | | | | | 68 638 | 34 319 ** |
| Médecine (4/4 chercheurs) | Tanguay | | | | | | 29 200 | | | | | | |
| | Sous-total | | | | | | 29 200 | | | | | 29 200 | 7 300 ** |
| Total FACULTÉ + SECTEUR MÉDICAL | 6 équipes 22 cherch. | | | | | | 381 063 | 495 000 | 171 662 | 52 943 | 57 000 | 1157 668 | 52 621 *** |
| GRAND TOTAL | 64 cherch. | 414 996 | 207 430 | 118 600 | 29 330 | 26 300 | 381 063 | 495 000 | 171 662 | 52 943 | 192 095 | 2089 419 | 35 414 *** |

1: incluant des subventions d'équipement
2: subvention conjointe avec MM. Asselin et Le Duy
3: subvention conjointe aux deux équipes de MM. Lapointe et Roy
4: subvention de 1982-83
5: moyenne annuelle établie à partir d'un montant global déclaré pour trois années (1981-1984)
6: moyenne annuelle établie à partir d'un montant global déclaré pour deux années (1981-1983)

* cette moyenne par chercheur subventionné a été établie à partir du nombre réel de chercheurs subventionnés, tel qu'indiqué par l'université Laval, lors de l'enquête

** cette moyenne par chercheur a été établie à partir du nombre total des chercheurs de l' (des) équipe (s), le nombre réel de chercheurs subventionnés n'ayant pas été indiqué par l'université lors de l'enquête

*** moyenne établie à partir d'un nombre estimé réel de chercheurs subventionnés.

On remarque tout de suite qu'une plus grande quantité de fonds est médical, si l'on tient compte du nombre de chercheurs impliqués en biotechnologie, ce qui porte la moyenne par chercheur à 52 600 $. Dans ce cas-ci, cette moyenne est plus de deux fois plus élevée que celle du secteur non-médical, qui est de 25 100 $ par chercheur. On y remarque aussi une présence très significative, globalement, des subventions provenant du Fonds de recherche en santé du Québec et du Conseil de la recherche médicale. Le département de Biochimie y est particulièrement bien subventionné.

Quant à l'ensemble du secteur non-médical, on y dénote une part importante de subventions en provenance du CRSNG, un appui sectoriel de l'université elle-même en foresterie et au Centre de nutrition (fermentations industrielles) et enfin, une moyenne par chercheur élevée en Foresterie. Une troisième constatation concerne la faiblesse des subventions obtenues par les équipes qui relèvent de la faculté d'Agriculture. L'ajout du montant des contrats de recherche aux subventions obtenues renforce le profil «performant» de certaines équipes mais ne corrigera pas de façon satisfaisante celui de la faculté d'Agriculture.

En somme, un peu plus de deux millions de dollars est consacré aux équipes oeuvrant, pour une part du moins, en biotechnologie et la moyenne annuelle par chercheur est de 35,5 K.

Commentaires

Une caractéristique, particulière à l'université Laval, se dégage de notre analyse; l'essentiel des ressources humaines déployées en biotechnologie se trouve dans le secteur non-médical, que ce soit en termes de domaines disciplinaires impliqués, de nombre d'équipes et de chercheurs, de filières investiguées, etc. À l'exception de la «biotechnologie forestière», le niveau des subventions obtenues n'est toutefois pas à la mesure de la taille des équipes. Leur prolifération n'est certes pas un atout,

ni leur dispersement, ni la fragmentation disciplinaire en plusieurs départements. On note toutefois une volonté d'interaction interdépartementale qui peut contribuer à corriger la situation. Le secteur médical reste cependant isolé, sans liens avec les autres facultés.

L'agriculture, la santé et la foresterie sont les filières investiguées de façon prépondérante tandis que toutes les autres (à l'exception des mines qui est absente) font l'objet d'un intérêt plus marginal. Des techniques de pointe y sont développées: génie génétique, culture de cellules, fermentations quand certaines autres, comme la sélection de souches et les procédés d'extraction et de purification, sont utilisées couramment.

Dans l'ensemble, une répartition hétérogène des ressources en quelques équipes (Foresterie, Centre de nutrition, Biochimie (Médecine)) bien subventionnées et en plusieurs équipes plus petites et relativement dispersées en neuf autres départements. L'examen des projets de recherche qui suit tentera de cerner leur degré d'intérêt en biotechnologie.

## 2.3 ANALYSE DU POTENTIEL DE RECHERCHE ET DE FORMATION AUX ÉTUDES AVANCÉES

Dans cette section de l'analyse, nous avons voulu cerner de plus près la «productivité» des équipes de recherche en regard du développement de la biotechnologie. Pour ce faire, nous avons gardé en mémoire, dans un premier temps, les subventions obtenues et les contrats de recherche alliés au nombre de publications de l'équipe depuis cinq ans. Ces deux indices nous apparaissent significatifs du degré d'activités de l'équipe dont les pairs ont cautionné la démarche. Toutefois, l'utilisation de ces considérations ne saurait être complète sans l'intervention de deux notions supplémentaires qui lui donneront tout son sens, celle d'équipe et celle du développement de relations avec des organismes ou institutions extra-muros.

Il est bien évident que ces informations seront utilisées avec tout le discernement nécessaire, compte tenu de l'âge des chercheurs et/ou de leur ancienneté dans l'université; il est tout aussi évident pour le comité que le nombre de chercheurs dans une équipe et ses contacts scientifiques avec des chercheurs du monde entier ne sont pas toujours garants d'une qualité de recherche à la fine pointe de l'innovation et de la technologie. Nous essaierons donc de pondérer ces variables entre elles en regard de la pertinence du projet et de son aspect novateur.

Ensuite, nous avons mis en relation ces premiers facteurs avec un deuxième aspect de la «productivité» de l'équipe, celui de la formation d'étudiants aux 2e et 3e cycles. Nous avons donc pris en compte, dans cette perspective, le nombre d'étudiants diplômés depuis cinq ans et le nombre d'étudiants inscrits dans ce programme de recherche en 1982. Il s'agit donc là de s'assurer d'une relève éventuelle de chercheurs aussi bien que d'évaluer grosso modo quel est le potentiel de main-d'oeuvre dans les différentes activités en biotechnologies dont les projets de recherche sont l'objet.

## TABLEAU 12

PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS, ETC.

| FACULTÉ/ département | Chercheur principal | No. total de cherch | Subv. 81-82 en $ | No. public. 5 ans | Moy. publ. 1 an | Collaborations extra-muros | No. diplô-més, 5 ans Ph.D. | M.Sc. | Total | No. étud. inscrits | Liens avec l'industrie partenaire | montant ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FORESTERIE-GÉOL. Ecologie/ Pédologie | Fortin | 5 | 383,479[1] | 52/4 | 2,6 | Daoust-Ouellette, Env.Can. Mallock, U. Tor.; Kendrick U. Waterloo; Chatterpaul, PNFS ; Vallée, MEMBQ; Plan-chette, MAPAQ; Richard, Agric. Can.; U. du Qué.; Bouchard, Jardin Bot.; U. de Lyon | 3 | 2 | 5 | 18 | Rhizotec<br>Biologicals<br>SEBJ<br>ENFOR | 35,000<br>35,000<br>17,000<br>131,763 |
| | TOTAL, FACULTE | 5 | 383,479[1] | | (M=2,6) | | 3 | 2 | 5 | 18 | | |
| SC. ET GENIE/ Biochimie | Bellemare | 2 | 53,054[1,2] | 7/1 | 1,4 | Leblanc, U.Q.T.R; Lemieux, CNR. | 2 | 3 | 5 | 7 | - | - |
| | Lapointe | 4 | 35,250[1]<br>+21,700[3] | 17/1 | 3,4 | Bordeleau, Agric. Can. | 1 | 2 | 3 | 2 | Par Agric. Can., Marché des agri-culteurs | - |
| | Roy | 2 | 16,909 | 4/1 | 0,8 | Smith, J. Hopkins Univ.; Lévesque, Mass, Gen. Hosp. et Harvard Méd. School; Cingras, Brooks, CSHL ** | 0 | 2 | 2 | 3 | - | - |
| Biologie (et Centre de nu-trition) | De la Noue | 7 | 105,548[1] | 25/5 | 1,0 | Couture, INRS-Eau; Lesel, INRA, France | 1 | 4 | 5 | 10 | Sodispro<br>Agric. Can.<br>Eco-rech. | 23,000<br>23,300<br>24,392 |
| Génie chimique | Le Duy | 4 | 117,844[1] | 16/4 | 0,8 | Ensic, Nancy, Fr; UQTR. | 0 | 4 | 4 | 10 | CRIQ | |
| | TOTAL FACULTE | 19 | 350,305 | | (M=1,5) | | 4 | 15 | 19 | 32 | | |

TABLEAU 12 (suite 1)

| PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS, ETC. | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FACULTÉ/ département | Chercheur principal | No. total de cherch | Subv. 81-82 en $ | No. public. 5 ans | Moy. publ. 1 an | Collaborations extra-muros | No. diplômés 5 ans Ph.D.-M.Sc. | | Total | No. étud. inscrits | Liens avec l'industrie partenaire | montant ($) |
| AGRIC. ALIM. | | | | | | | | | | | | |
| Sc. et technol. des aliments | Simard | 3 | 58,500[4] | 24/2 | 2,4 | Lee, Agric. Can.; Blachere INRA, Dijon, Fr.; Lusena et Nasin, C^ie SNC. | 2 | 2 | 4 | 2 | Comm. Can. du lait | 33,000 |
| | Goulet | 4 | 48,000 | 11/2 | 1,1 | de la Fuente, Navarro, Montpellier; Champagne, ITAA, St-Hyac.; Grégoire, MAPAQ; Gagnon, CRESALA et IAF, Lachance, Agr. Can. | - | - | - | - | Agric. Can.<br>App. et Serv.<br>Lallemand<br>Nutrinor<br>Laiterie Etchemin<br>Ronicon Inc. Mass.<br>CRIQ | 78,000<br>93,637<br>-<br>-<br>-<br>-<br>- |
| Sols | Antoun | 3 | 26,300[1] | 5/2 | 0,5 | Bordeleau, Richard, Couture, Agric. Canada | - | 2 | 2 | 5 | - | - |
| Phytologie | Asselin | 2 | 31,000 | 5/1 | 1,0 | - | - | 4 | 4 | 6 | - | - |
| | Dion | 1 | 29,500[5] | 0 | 0 | - | - | - | - | 2 | - | - |
| | Pauzé | 5 | 4,667[5] | 0 | 0 | Dubuc, Couture, Station fédérale de rech. génétique | - | 2 | 2 | 1 | ND | ND |
| | TOTAL, FACULTE[6] | 18 | 197,967 | | (M=1,3) | | 2 | 10 | 12 | 16 | | |
| TOTAL, SECTEUR NON MÉDICAL | | 42 | 931,751 | | (M=1,8) | | 9 | 27 | 36 | 66 | | |

TABLEAU 12 (suite 2)

PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS, ETC.

| FACULTÉ/ département | Chercheur principal | No. total de cherch | Subv. 81-82 en $ | No. public. 5 ans | Moy. publ. 1 an | Collaborations extra-muros | No. diplômés, 5 ans Ph.D. | M.Sc. | Total | No. étud. inscrits | Liens avec l'industrie partenaire | montant ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MEDECINE | | | | | | | | | | | | |
| Physiologie | Labrie | 4 | 19,225[7] | ND | ND | ND | - | - | - | 2 | Biocell | - |
| Biochimie | Bélanger | 10 | 915,000 | 81[8]/9 | 3,0 | U. libre de Bruxelles; Salat-Trepat, Fr.; Swierenga, Ott.; Kay, U. Sussex; Fehlman, ISERM, Nice; Cuillorego, Rennes; Inst. Pasteur | 5 | 13 | 18 | 13 | ND | ND |
| | Pagé | 1 | 84,605 | 25[9]/1 | 6,3 | - | 1 | 5 | 6 | 9 | - | - |
| Microbiologie | Joly | 1 | 41,000 | 7/1 | 1,4 | Mc Kinney, Centers for Disease Control, Atlanta; Winn, U. of Vermont. | - | - | - | 1 | - | - |
| Labo. Neuro-biologie, Hôp. Enf.-Jésus | Poirier | 2 | 68,638[4] | 17[9]/1 | 4,3 | - | - | - | - | 2 | - | - |
| Médecine | Tanguay | 4 | 29,200 | 11/2 | 1,1 | Valet, MAS; Duhaud, coopérant | 1 | - | 1 | 5 | - | - |
| | TOTAL, FACULTE | 22 | 1,157,668 | | (M=3,2) | | 7 | 18 | 25 | 32 | | |
| TOTAL, SECT. MED. | | 22 | 1,157,668 | - | (M=3,2) | - | 7 | 18 | 25 | 32 | | |
| GRAND TOTAL | | 64 | 2,089,419 | - | - | - | 16 | 45 | 61 | 98 | | |

1: incluant des subventions pour l'équipement
2: subvention conjointe avec MM. Asselin et le Duy
3: subvention conjointe avec M. Roy
4: pour 1982-1983
5: moyenne annuelle établie à partir d'un montant global déclaré pour 3 ans
6: ce total pourrait aussi inclure toutes les données sur M. de la Noue du Centre de Nutrition qui relève de la faculté d'Agriculture et Alimentation
7: moyenne annuelle établie à partir d'un montant global déclaré pour 2 ans
8: nombre de publications pour 3 ans
9: nombre de publications pour 4 ans.
* Petawawa National Forest Station
** Cold Spring Harbor Laboratory

En plus de la pertinence biotechnologique des projets et de leur degré novateur, nous avons essayé de voir si les applications envisagées ont donné lieu - ou donneront lieu - à des relations avec l'industrie, soit en terme de démarche en R&D industrielle, soit en termes de contrats de recherche ou de formation d'entreprise. Aux yeux du comité, le développement de la biotechnologie est largement tributaire de deux impératifs: de la solide recherche fondamentale étayée d'une orientation vers des applications industrielles.

Le comité a été sensibilisé, lors de son analyse, au danger d'une projection trop grande des équipes de recherche vers des contrats industriels sans que les assises de la recherche fondamentale qui l'avaient assurée n'aient été adéquatement maintenues. Il a semblé au comité qu'il ne faut pas perdre de vue le rôle essentiel de l'université et de sa recherche, dont les deux objectifs principaux sont l'avancement des connaissances et leur transmission aux autres chercheurs et aux étudiants. Par contre, l'ouverture des recherches aux applications a été perçues comme un aspect positif compte tenu du domaine développé, la biotechnologie, qui appelle sémantiquement une recherche d'applications.

L'ordre d'apparition des unités de recherche ainsi analysées sera fait par secteur d'activités.

Secteur non-médical

Biotechnologie forestière (Écologie/Pédologie, 1 unité, 5 chercheurs)

1. «Travaux fondamentaux sur la structure des symbioses racinaires, sur l'identité et la génétique des symbiontes, sur les mécanismes de reconnaissance et d'échange, sur le fonctionnement des symbioses et sur la multiplication des symbiontes».

Cette équipe - car on peut parler ici d'équipe - est rodée depuis plusieurs années, et compte à son actif une bonne moyenne de subventions par chercheur et un bon nombre de publications depuis cinq ans. Elle a, en outre, développé de multiples contacts avec des chercheurs autant au Québec qu'au Canada.

Toutefois, sa productivité en termes de diplômés n'est que relativement satisfaisante si l'on tient compte de sa maturité. Cette assertion est toutefois pondérée par un nombre assez volumineux d'inscrits à ce programme de recherche cette année, d'où il est souhaitable qu'en sortent des diplômés.

L'intérêt biotechnologique de ces recherches sur les symbioses végétales a été considéré élevé par le comité en ce qui a trait au renouvellement de certaines techniques agricoles, forestières et horticoles, comme d'ailleurs en fait foi l'intérêt de l'industrie pour ses applications.

Le comité considère que ce programme de formation, unique au Québec, associé à un programme d'études qui va du 1er au 3e cycle, dont le bassin d'inscrits est considérable (330 étudiants au 1er cycle en 1982-1983) offre un tremplin intéressant pour développer davantage la biotechnologie forestière au Québec.

L'instauration d'un nouveau programme de 1er cycle de Technologie du bois dans cette faculté en septembre 1983 pourrait entraîner le développement d'autres programmes de recherche d'études avancées reliés à la biotechnologie comme celui de la biodégradation et de la biotransformation du bois.

Le comité estime toutefois que cette équipe devra être vigilante en ce qui a trait à sa relève, compte tenu du rôle qu'elle joue dans cette faculté et qu'elle est appelée à jouer encore. Il apparaît en outre pertinent de signaler que ses liens avec la faculté d'Agriculture méritent d'être soutenus et développés, parce que cette concertation pourrait renforcer ce secteur et y stimuler la recherche.

Génie génétique (Biochimie, 3 unités, 8 chercheurs)

2. «Étude de l'interaction entre le genome chloroplastique et nucléaire».
3. «Étude de la génétique du virus de la mosaïque du tabac à l'aide de certaines techniques du génie génétique».
4. «La mise au point de nouvelles méthodes sensibles au diagnostic de certains virus végétaux».
5. «l'étude de la résistance des cellules végétales à certains pathogènes».
6. «Le clonage des gènes des cellulases d'un champignon acidiphile».
7. «Étude de la fixation et de l'assimilation de l'azote chez Rhizobium meliloti en symbiose avec la luzerne, dans le but d'optimiser la production de protéines végétales».
8. «Clonage des gènes des Beta-lactamases».
9. «Clonage des gènes de restriction et modification de l'A.D.N.»

Les unités travaillant en génie génétique à la faculté de Sciences et du génie se caractérisent par le fait qu'il s'agit là plutôt de chercheurs individuels, qui travaillent davantage de façon isolée, que de véritables équipes. En fait, dans les trois cas, les subventions de recherche pourraient être attribuées au seul chercheur principal; en effet, soit que l'autre chercheur fasse déjà partie d'une autre équipe subventionnée, soit que l'assistant-chercheur ne soit intégré à l'équipe que très récemment, ou soit que l'assistant-chercheur soit un étudiant.

Tel que présenté, il est difficile de discerner, dans les cinq sujets de la première unité de recherche, une ligne directrice qui articulerait ensemble les niveaux analytiques des problématiques proposées en génétique du végétal. Toutefois, le niveau des subventions obtenues, le nombre de publications depuis cinq ans (7) et les liens de collaboration, avec deux autres chercheurs de phytologie et de génie chimique peuvent être des facteurs susceptibles de stimuler le démarrage d'une équipe prometteuse. De

la même manière, la préoccupation d'orienter vers des applications pourrait être justement favorisée par cette interaction avec l'équipe de fermentations. Cinq étudiants diplômés et sept inscrits complètent ce tableau.

Le biochimiste qui travaille avec deux autres chercheurs et un étudiant sur l'«Étude de la fixation et de l'assimilation de l'azote chez Rhizobium meliloti en symbiose avec la luzerne» est bénéficiaire de subventions peu élevées mais a publié un nombre remarquable de travaux. Une préoccupation d'orienter ses recherches vers des applications y semble réelle puisque des collaborations avec Agriculture-Canada ont été instaurées et que le marché des agriculteurs lui semble ouvert par cette voie. Il apparaît toutefois aux analystes que le thème de recherche ci-haut ne reflète qu'une partie de son activité globale en génie génétique, qui serait, croit-on, davantage prometteuse. Quatre étudiants sont diplômés dans ce programme depuis cinq ans et sept y sont actuellement inscrits.

Malgré de faibles subventions et un nombre restreint de publications, le 3e chercheur, aidé d'une assistante, qui travaille sur les enzymes de restriction par clonage, reste très en aval de la recherche en génie génétique et de façon très pertinente. Ses travaux fondamentaux l'amèneront cependant à travailler éventuellement avec le secteur médical ou à produire des outils de recherche pour les chercheurs en biotechnologie. Il a deux diplômes (M.Sc.) à son actif.

Commentaires

Dans l'ensemble, ces unités du département de Biochimie sont assez «productives» en ce qui a trait aux diplômés qu'ils ont formés (10 en 5 ans) et comptent un nombre intéressant d'étudiants inscrits cette année (9).

Par contre, si nous considérons ces trois unités de génie génétique dans leur ensemble, on se rend compte de l'intérêt à ce que ces chercheurs, qui travaillent plutôt individuellement, s'allient à des équipes plus importantes - en nombre et en activités - acquérant ainsi des occasions de conjuguer et le développement du génie génétique et celui des objets de recherche à des univers mieux intégrés sur le plan fondamental, et plus orientés vers des applications éventuelles.

Fermentations industrielles (Génie chimique, Sciences et technique des aliments, 3 unités, 11 chercheurs)

10. «Utilisation des microorganismes et/ou des enzymes dans la production des produits alimentaires, de l'énergie ou des métabolites précieux à partir des matières premières abondantes et disponibles ou à partir des déchets industriels, agricoles ou municipaux».
11. «Production de protéines alimentaires d'origine microbienne».

Deux champs de recherche en fermentations industrielles:

12. «les cellules immobilisées sur divers supports organiques et inorganiques»;
13. «les bioréacteurs à membranes, en rapport avec le fractionnement moléculaire et la diffusion gazeuse».

L'ingénieur biochimiste qui conduit la 10e recherche avec trois autres chercheurs assume le leadership d'une véritable équipe dont la qualité du travail peut conduire à des innovations industrielles en fermentations. L'activité décrite ci-haut recouvre de nombreuses activités de génie biochimique et a déjà conduit à la mise au point de trois bioprocédés qui pourraient passer à l'expérimentation-pilote dans cinq ans ou plus. Néanmoins, la «productivité» en termes de publications, d'obtention de subventions et de diplômation reste assez faible: il y aurait là un effort attendu d'une équipe en explosion ... que le nombre d'étudiants inscrits (10) pourrait peut-être susciter.

Le microbiologiste qui réalise le 11e projet avec deux assistants de recherche travaille dans le même champ d'activités que le chercheur principal précédent. Doté d'un fort volume de publications et de subventions, à la source d'un nombre satisfaisant de diplômés, ce chercheur a fait ses preuves aussi sur le plan des applications pratiques comme en fait foi l'attribution de contrats de recherche. Un risque subsiste cependant aux yeux du comité, celui de se soustraire aux exigences de la recherche de base capable d'alimenter l'innovation en recherche appliquée pour répondre aux demandes ponctuelles de l'industrie. Voilà peut-être l'exemple d'une expertise à intégrer à une équipe qu'il pourrait renforcer mais aussi où il serait difficile de perdre de vue la juste pondération entre recherche de base et visées contractuelles.

L'activité scientifique du chercheur qui préside aux 12e et 13e projets en fermentations industrielles n'est pas récente ni improvisée. Il en est pour preuve son activité contractuelle auprès de firmes impliquées dans le développement de l'agro-alimentaire. Un ralentissement de ses activités proprement universitaires est à signaler toutefois: pas de diplômés ni d'inscrits, un nombre peu élevé de publications, des subventions de fonctionnement peu élevées; il y aurait intérêt, en termes de développement d'un secteur, de mieux utiliser les ressources scientifiques isolées et pertinentes pour grossir des unités de recherche qu'il ne serait certainement pas inutile de consolider.

Recyclage biologique et aquiculture (Biologie et Centre de nutrition, 1 unité, 7 chercheurs)

14. «Production de biomasses d'algues et épuration des eaux usées en conditions opérationnelles».
15. «Culture d'algues sous éclairage artificiel».
16. «Floculation chimique (chitosan) des biomasses d'algues».
17. «Épuration du lisier de porc par traitement aérobie et culture d'algues».

18. «Interactions algues-bactéries».
19. «Métabolisme du phosphate lors de la surconsommation chez les algues».
20. «Production de chitine par Daphnia».
21. «Production de Daphnia avec alimentation en continu et mesure du coefficient de conversion».
22. «Cheminement des métaux lourds dans une chaîne alimentaire en eaux usées».
23. «Détection des pathogènes dans les biomasses».
24. «Évaluation nutritionnelle des biomasses chez le poisson».

Une observation préliminaire sur la présentation des activités de recherche de l'équipe ci-dessus: elle ressemble, plutôt à une énumération de projets, sans focalisation très évidente sur un axe de recherche qui aurait eu le mérite de les soutenir et d'alimenter leur fécondité. Les contrats avec l'industrie sont peut-être à la source de cette tendance marquant un tant soit peu l'orientation des activités de cette équipe, qui véhicule par ailleurs des préoccupations «biotechnologiques» dans plusieurs aspects de ses démarches. Quoi qu'il en soit, l'intérêt majeur de ces travaux, semble se situer au niveau de l'épuration des eaux au moyen de micro-organismes (algues) et à celui du transfert de protéines dans la chaîne alimentaire.

Pour l'instant, l'équipe ne manifeste pas une grande productivité si l'on tient compte du nombre de chercheurs qui composent l'équipe comparé au nombre de publications, à la moyenne des subventions par chercheur, au nombre de diplômés depuis cinq ans et aussi au nombre d'étudiants inscrits actuellement.

Néanmoins, le comité saisit l'occasion de souligner ici que le développement par exemple, de la biologie en milieu marin - extraction de substances des algues marines - devrait faire l'objet d'un effort concerté et considérable afin de lui faire prendre l'essor qu'il mérite.

Commentaires

En résumé, si nous considérons le secteur des fermentations industrielles dans son ensemble, (y compris le recyclage biologique) il apparaît au comité qu'il contient un nombre suffisant de bons scientifiques pour favoriser le développement des technologies des fermentations appliquées aux domaines de l'agro-alimentaire, de l'agriculture et de l'environnement (traitement des déchets et des eaux usées, biotraitement des pollutions) à la condition que soit renforcée la recherche de base menant à des applications, que soient consolidées les équipes par l'apport d'expertises supplémentaires ou de regroupements et aussi, par l'obtention de fonds de recherche plus importante.

En bref, une augmentation généralisée du niveau d'activité scientifique devrait stimuler l'innovation et privilégier l'obtention de diplômes d'études avancées par les étudiants encadrés par ces équipes.

Végétal (Sols et Phytologie, 4 unités, 11 chercheurs)

25. «Effet des différents intermédiaires du cycle de Krebs sur la production de l'ATP et l'expression de la nitrogenase chez le Rhizobium meliloti à l'état libre et en symbiose avec la luzerne».
26. «Étude comparative de Tobamovirus et préparation de clones et de sondes».
27. «Étude des protéines b ou PR synthétisées chez les végétaux en réponse à divers stress chimiques ou pathogéniques».
28. «Étude de l'application de l'électrophorèse en gels à la détection de virus végétaux».
29. «Caractérisation des souches d'Agrobactérium tuméfaciens présentes au Québec».
30. «Étude des effets de certains inhibiteurs sur l'induction tumorale».
31. «Étude sur les mutations conditionnelles du plasmide Ti d'Agrobactérium tuméfaciens».
32. «Culture d'anthères de blé relativement au problème de la fusariose».

Sous différentes appellations qui correspondent à des secteurs de recherche (virologie végétale, fixation de l'azote, culture de tissus, culture d'anthères), la faculté d'Agriculture présente trois petites unités, et une autre plus importante, outre les trois équipes déjà citées en fermentations industrielles et recyclage biologique.

L'agronome-biologiste qui s'intéresse à la fixation de l'azote par Rhizobium meliloti, est un jeune chercheur prometteur dont la recherche appliquée vise la lutte biologique contre certains champignons phytopathogènes chez la luzerne et qu'il serait productif de laisser oeuvrer seul, pour l'instant.

Même si le niveau de subventions obtenues et des articles publiés n'est pas très élevé chez le virologue qui réalise les projets 26 à 28, il n'en reste pas moins que l'intérêt majeur de ses activités réside d'abord dans la qualité de son travail en virologie végétale; puis, étant le seul spécialiste du domaine, le nombre de ses diplômés, et des étudiants inscrits à son programme de recherche devient important, afin d'assurer une relève éventuelle.

Le jeune chercheur récemment intégré à la faculté qui est titulaire des projets 29 à 31 possède un potentiel de recherche et d'innovation technologique prometteur; il travaille sur Agrobacterium tumefaciens. Son objectif est de combattre la maladie de crown gall et de comprendre le processus de différenciation cellulaire chez les végétaux. Deux M.Sc. sont inscrits à ce programme.

Il est assez singulier, par ailleurs, de constater le peu de productivité, à tous les niveaux, de la dernière équipe qui travaille sur la «culture d'anthères de blé relativement au problème de la fusariose».

Commentaires

En conclusion, si l'université Laval veut assumer un rôle de premier plan en biotechnologie, entre autres, par la position privilégiée au Québec de sa faculté d'Agriculture, il lui faudra y renforcer le niveau des activités de recherche, en stimulant la productivité à tous les niveaux et en appuyant les chercheurs en émergence.

- Secteur médical

Endocrinologie moléculaire (Physiologie et Laboratoire d'endocrinologie, 1 unité, 4 chercheurs)

33. «Développement d'anticorps monoclonaux contre une série de produits naturels et médicaments d'intérêt diagnostique».
34. «Développement de nouvelles méthodes d'immunoétalonnage avec des marqueurs non-isotopiques».

Oncologie cellulaire et moléculaire (Biochimie, 1 unité, 10 chercheurs)

35. «Développement d'anticorps monoclonaux contre une série de produits naturels et médicaments d'intérêt diagnostique».
36. «Développement du luminoimmunoétalonnage».

Neurobiologie (Labo. neurobiologie, 1 unité, 2 chercheurs)

37. «Développement du cerveau mettant en cause de façon particulière la technologie des anticorps monoclonaux».

Génétique moléculaire et oncologie expérimentale (Médecine, Biochimie, Microbiologie, 3 unités, 6 chercheurs)

38. «Régulation de l'expression des gènes lors de l'hyperthermie».

39. «Étude des gènes impliqués dans la thermotolérance».
40. «Production d'anticorps monoclonaux contre les hsp».

41. «Produire des anticorps monoclonaux chez la souris à partir de la préalbumine embryonnaire déjà isolée».
42. «Développer un ELISA pour la préalbumine embryonnaire (EPA)».
43. «Doser l'EPA sérique chez les patients cancéreux et les sujets normaux».
44. «Utiliser les anticorps monoclonaux pour l'immunopathologie (en collabo.)».

45. «Production d'anticorps monoclonaux murins dirigés contre Légionella pneumophila».
46. «Production d'anticorps monoclonaux humains».

Dans les deux premiers cas, nous avons affaire à des unités de recherche imposantes qui travaillent toutes deux sur le développement d'anticorps monoclonaux et sur le développement de nouvelles méthodes d'immunoétalonnage; les données sont toutefois incomplètes en ce qui a trait aux projets 33 et 34 mais on peut toutefois affirmer que ces projets présentés ne correspondent qu'à environ 10% de l'activité de recherche du chercheur principal et de son équipe. Pour ne s'en tenir qu'à la 2e unité regroupant dix chercheurs et réalisant les projets 35 et 36, le comité considère qu'il y a là un bon exemple de convergence positive des différentes variables, ce qui devrait garantir la fécondité scientifique, une autonomie de moyens et une productivité adéquate en termes de formation de spécialistes.

Les titulaires des projets 37 et 41 à 44 sont des chercheurs pratiquement isolés. Ils se distinguent par une productivité singulière au plan des publications et des subventions. Ils travaillent tous deux sur la production d'anticorps monoclonaux. Le 2e chercheur dirige un nombre d'étudiants considérables. Les deux autres unités (1 à 3 chercheurs) ont des préoccupations scientifiques similaires (les anticorps monoclonaux).

Commentaires

Dans l'ensemble, 32 étudiants encadrés par ces équipes pourront émerger du domaine de la recherche en production d'anticorps monoclonaux. Quant à la répartition des ressources de recherche en une grosse unité et cinq petites, il faut peut-être souhaiter que la convergence d'intérêt de recherche amène les chercheurs à se regrouper, comme le font actuellement deux d'entre eux, particulièrement isolés.

## 2.4 CONCLUSION

En somme, il se dégage de cette analyse que bien que les activités de chercheurs plus isolés soient dignes de promesses en terme de développement des activités reliées aux biotechnologies et à la formation de spécialistes, il n'en reste pas moins que seulement trois secteurs de recherche présentent actuellement une adéquation suffisante de critères de masse critique, de productivité alliés à la pertinence biotechnologique pour assurer à court et à moyen terme un noyau stable et fécond capable d'enrichir l'expertise en voie de se constituer: il s'agit des secteurs de la foresterie, celui des fermentations industrielles et celui du secteur médical, dans une proportion équivalente.

Nous avons vu au début de ce chapitre (cf. 2.1) que l'université Laval se proposait de promouvoir trois axes de développement en biotechnologie: le génie génétique, les fermentations et les symbioses végétales; nous sommes enclins à tomber d'accord avec elle, du moins sur les deux derniers axes, considérant toutefois le développement du génie génétique comme en complémentarité essentielle à l'essor éventuel d'autres secteurs.

Nous profitons de l'examen de ce dossier pour aborder une question d'intérêt plus global et où l'université en question n'est pas seule concernée.

À l'université Laval, on observe une fragmentation en plusieurs enseignements de certaines sciences fondamentales indispensables au développement biotechnologique, comme la biochimie, la biologie et la microbiologie. En effet, il existe à cette université trois programmes de microbiologie (sciences, agriculture, médecine), deux programmes de biochimie (sciences et médecine), un écartèlement de l'enseignement de la biologie entre Foresterie, Sciences et génie et Sciences de l'agriculture (l'entomologie par exemple) sans parler du peu de relations entre chimie et génie

chimique tous deux en Sciences et génie. Le comité imagine aisément ce qu'un tel dispersement des énergies et des ressources peut signifier et s'interroge sur les effets de cette fragmentation sur la cohérence et l'exhaustivité de l'enseignement de ces sciences de base. En effet, si cette fragmentation a eu pour origine une différenciation des enseignements selon des modèles d'application, le risque subsiste, à la longue, de négliger certains aspects fondamentaux de l'enseignement de ces sciences. Il semble que ce soit particulièrement vrai pour l'enseignement de la biologie, pour aborder ce secteur prioritairement, de la biologie végétale, notamment.

Dans le cadre des perspectives biotechnologiques, il faut entendre les aspects de la biologie végétale qui concernent la cytologie, la physiologie, la génétique, la morphogénèse et le contrôle hormonal de la croissance des plantes. Il faut inclure aussi la phycologie et la mycologie non pas dans les aspects qui rapprochent ces organismes des bactéries mais dans ceux qui les rapprochent des plantes supérieures.

Or, considéré dans cette perspective restreinte ou même dans une perspective plus globale et plus classique de plusieurs aspects de la biologie végétale (botanique), les universités francophones du Québec sont à toutes fins pratiques absentes du «débat» autant sur le plan canadien qu'international et ce, autant au niveau des publications évaluées par des pairs qu'en termes de fonds de recherche.

De plus, à l'université Laval, le programme de biologie végétale est offert en option en Biologie, il est dispensé à la faculté d'Agriculture et se rapproche davantage par son contenu de la botanique traditionnelle et de la problématique agricole que de la biologie végétale, prise dans ses aspects fondamentaux et comme point de départ à de l'innovation technologique.

Si l'on tient compte des priorités de cette institution en symbioses végétales, si l'on songe à la focalisation existante des recherches biotechnologiques sur des problèmes reliés à l'agriculture, il serait souhaitable qu'elle repense et le contenu de l'enseignement fondamental en sciences biologiques et la déconcentration dont il fait l'objet. Une réflexion semblable devrait se poursuivre sur la fragmentation de l'enseignement de la microbiologie et de la biochimie.

UNIVERSITÉ LAVAL

APPENDICE A

**Programmes de premier cycle pouvant mener à des études supérieures dans un des domaines de la biotechnologie**

- **Département de biochimie**

. **Biochimie**

| | |
|---|---|
| Bioch. structurale | BCM 10004 |
| Métabolisme I | BCM 10006 |
| Labo. correspondant | BCM 10005 |
| | BCM 10007 |

**Cours spécialisés:**

| | |
|---|---|
| Struct. et fonction des protéines | BCM 10010 |
| Struct. et fonction des acides nucléiques | BCM 10013 |
| Labo. correspondant | BCM 14299 |

. **Microbiologie**

| | |
|---|---|
| Microbiologie I | MCB 10017 |
| Isolement et culture de microorganismes | MCB 13218 |
| Labo. correspondant | MCB 10018<br>MCB 13219 |

**Cours spécialisés**

| | |
|---|---|
| Génétique et biologie moléculaire des microorganismes | MCB 10021 |
| Virologie | MCB 10025 |

- Département de Biologie:

. Biologie

| | |
|---|---|
| Biologie cellulaire et moléculaire I | BIO 10027 |
| Biologie cellulaire et moléculaire II (Labo) | BIO 14825 |
| Génétique | BIO 10034 |
| Biologie cellulaire et moléculaire II | BIO 10037 |
| Biologie cellulaire et moléculaire II (Labo) | BIO 10038 |

- Département de Génie chimique:

. Génie chimique

| | |
|---|---|
| Génie alimentaire | GCH 10166 |
| Génie biochimique (protéines) | GCH 10167 |
| Génie biochimique (contrôles) | GCH 10168 |
| Fermentations industrielles | GCH 10169 |
| Assainissement industriel | GCH 13201 |
| Microbiologie industrielle | GCH 15875 |
| Traitement des eaux usées I | GCH 16849 |
| Traitement des eaux usées II | GCH 16850 |

. Pré-requis pour les candidats aux 2e et 3e cycles n'ayant pas de formation en génie chimique:

BCM 10004
BCM 10006
BCM 10017
MCB 10018
BIO 12286
BIO 12287

- Département de Foresterie:

  . Génie forestier
  . Technologie du bois (programme commencé en septembre 1983)

- Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation

| | |
|---|---|
| Fermentation I | VVR 12449 |
| Fermentation (Labo.) | VVR 12450 |
| Microbiologie des vivres | BIO 13319 |
| Physiologie microbienne | BIO 13321 |
| Microbiologie/sols | SLS 16580 |
| Mycologie | BOT 12372 |
| Virologie végétale | BOT 16358 |

PARTIE II

## 3. UNIVERSITE CONCORDIA

### 3.1 DESCRIPTION SYNTHETIQUE DES DONNEES

L'université Corcordia a présenté au comité un dossier succinct faisant état:

A. des conditions de développement des biotechnologies, des orientations qu'elle s'est données;
B. de ses programmes de 1er cycle;
C. de ses programmes éventuels d'études supérieures;
D. des programmes dispensés et de la fréquentation étudiante;
E. de son apport aux biotechnologies, depuis 1978, par des cours gradués intensifs en microbiologie appliquée;
F. de ses équipes de recherche.

Le développement des biotechnologies et l'université Concordia

Selon le document soumis par l'université Concordia, c'est la recherche de base, dans un certain nombre de domaines spécifiques (biologie, chimie, physique, mathématiques et génie) qui va générer les procédés et techniques constituant l'infrastructure de support des applications industrielles des processus biologiques. En ce sens, il incombe au gouvernement et au secteur industriel d'établir des priorités de développement de la recherche fondamentale, de développement sélectif de certaines technologies, et de formation de main-d'oeuvre.

De leur côté, les universités doivent être en mesure de satisfaire les besoins des bio-industries en main-d'oeuvre hautement qualifiée. Ce rôle, elles pourront le jouer d'abord en relevant* le défi de la recherche et de la formation multidisciplinaire mais aussi en trouvant moyen d'y accueillir la main-d'oeuvre actuelle qui, évoluant dans une industrie changeante, aurait intérêt à se recycler. Pour atteindre ces objectifs, les universités doivent se concerter et coordonner leurs efforts, avec le gouvernement et les industries, au niveau provincial et national; elles doivent en outre maintenir et enrichir leurs contacts internationaux, contacts essentiels à la circulation de l'information scientifique concernant le développement des biotechnologies.

Après ces considérations d'ordre plus général, le document de l'université Concordia décrit la position particulière de cette institution par rapport aux autres qui l'entourent et les orientations qu'elle s'est données.

En effet, sans faculté de médecine dans une ville où la recherche médicale est particulièrement déployée, l'université Concordia a trouvé intérêt à concentrer ses efforts dans les domaines reconnus comme étant moins développés, à savoir: les aspects non-médicaux de la microbiologie, de la génétique et de la biochimie, d'autant plus qu'elle considère leur progrès indispensable à l'émergence de bio-industries. Deux projets de recherche récemment mis en oeuvre et qu'elle considère prometteurs (fixation libre de l'azote en biologie et bioconversion en chimie) attestent son évident désir de s'orienter dans cette direction, si ce n'est son implication de plus longue date (1978) dans l'organisation de séminaires intensifs d'été en microbiologie appliquée.

Dans le même sens, elle fait observer l'étroite relation interdisciplinaire existant entre ses généticiens moléculaires, ses microbiologistes et ses chimistes puisqu'ils dirigent conjointement un programme de doctorat en biochimie; ce programme multidisciplinaire

---

* C'est nous qui soulignons.

enrichi vise à satisfaire les besoins des industries de la région: à ce titre, elle possède un laboratoire de service industiel (The Science Industrial Research Unit) et un Comité aviseur industriel de programme. Elle invite en outre des professeurs-conférenciers du secteur industriel à donner des séminaires en microbiologie et en biologie moléculaire. Certains professeurs-adjoints sont des chercheurs de l'industrie et ils sont même invités à diriger des thèses d'étudiants.

En somme, l'université Concordia définit le rôle qu'elle entend jouer en biotechnologies en valorisant ce qui la distingue des autres universités de la même région: l'aspect non-médical de ses activités de recherche en biotechnologie allié aux relations étroites qu'elle entretient avec les industries de la région de Montréal, sans pour autant négliger l'importance de la recherche fondamentale et d'une bonne formation de base multidisciplinaire.

Les programmes de 1er cycle pertinents à la formation en biotechnologie

Dans les deux disciplines où s'effectuent des recherches en biotechnologie, soit en biologie et en chimie, l'université Concordia cite un certain nombre de cours, dispensés dans ces programmes, qu'elle juge pertinents à la formation des étudiants appelés à oeuvrer dans les domaines reliés à la biotechnologie. On trouvera en Appendice A du présent chapitre la liste de ces cours de 1er cycle.

Programme éventuels d'études aux cycles supérieurs

Le département de biologie de l'université Concordia se dit apte à mettre au point des programmes de cours spécifiques d'études avancées en:

- biologie moléculaire de la levure et recombinant DNA (2 cours);
- biotechnologie des plantes (2 cours);
- génétique et physiologie bactériennes (6 cours).

Voici le détail de ces intentions:

Biologie moléculaire de la levure
Recombinant DNA

1. Molecular Biology of Yeast. Theory and techniques of recombinant DNA technology as applied to yeast.

2. Eukaryotic Regulatory Mechanisms. Transcriptional ans translational control mechanisms in eukaryotic cells.

Biotechnologie des plantes

1. Techniques in Plant Organ, Tissue, Cell and Protoplast Culture. Involves methods of initiation and maintenance of cultures; mass culture of cells; testing genetic stability; establishing synchronous growth; isolation of cell lines; cryopreservation of cells and plasme; protoplast fusion; horticultural and industrial application, etc.

2. Plant Tissue Culture as Source of Biochemicals. Involves survey of capability of cultured tissues for secondary metabolite systhesis; productivity of desirable metabolites; optimization of synthesis; large scale production; cost, problems, etc.

Génétique et physiologie bactériennes

1. Geomicrobiology. Theory and practice of exploiting microorganisms in bacterial leaching of mineral ores.

2. Theoretical Aspects of Large Scale Fermentations. Special problems associated with sustaining large scale growth of microorganisms of industrial interest.

3. Nitrogen Fixation. Laboratory and field studies uses of bacterial strains and mutants to optimize Nitrogen Fixation.

4. Insertion Sequences. Modern techniques in bacterial genetics and mutagenesis.

5. Immobilized Enzymes. Stabilization of enzymes and production of metabolites on an industrial scale.

6. Regulation of Metabolism. Excretion of metabolites and its optimization.

Programmes dispensés et fréquentation étudiante

Département de biologie:

L'université Concordia, selon les données fournies, dispense actuellement des programmes de 1er cycle et de 2ième cycle en biologie. Les intérêts, au 2ième cycle, sont centrés sur les sujets d'étude suivants:

- physiologie animale
- toxicologie aquatique
- biologie cellulaire et moléculaire
- écologie
- microbiologie
- biochimie et physiologie des végétaux

Ce département compte 23 professeurs à temps complet et 15 professeurs à temps partiel; 350 étudiants y fréquentent le 1er cycle tandis que de 20 à 23 étudiants environ sont formés annuellement au 2ième cycle.

Selon l'université, la moitié des chercheurs de ce département sont orientés en biologie de l'environnement et l'autre, en biologie moléculaire et en microbiologie. Le programme permet aux étudiants de 2ième cycle de s'orienter vers un 3ième cycle en chimie.

Département de chimie:

Cet établissement dispense actuellement un 1er cycle en chimie, spécialisé soit en chimie, soit en biochimie ou soit en chimie analytique. Le 2ième cycle est orienté sensiblement de la même manière:

- chimie analytique
- chimie inorganique
- biochimie
- chimie organique

Un programme de 3ième cycle y est aussi disponible, spécialisé en biochimie et supervisé aussi par des professeurs du département de biologie.

Vingt-trois professeurs constituent le corps professoral de ce département, qui est fréquenté par 350 étudiants au 1er cycle (dont 40% en biochimie), par 15 à 20 étudiants au 2ième cycle et par 5 inscrits, environ, au 3ième cycle.

Cours gradués intensifs en microbiologie appliquée

Patronnés par le département de biologie, des séminaires intensifs d'une durée de deux semaines sont dispensés chaque année sur le campus de l'université Concordia depuis mai 1978. Selon la thématique choisie, (microbiologie industrielle, physiologie microbienne, méthodologie de recombinaison génétique, géomicrobiologie, etc.), une personnalité scientifique venue de l'étranger est invitée à y livrer le fruit de son expertise. Le comité ne dispose pas de données sur la fréquentation de ces séminaires ni sur le type de clientèle qu'ils attirent mais croit que cette formule est excellente et mérite attention. On trouvera en Appendice B les titres et les invités de ces séminaires depuis 1978.

## Les équipes de recherche en biotechnologie

Sous trois appellations d'activités différentes, l'université Concordia présente cinq unités de recherche regroupant cinq chercheurs séniors et 13 étudiants à la maîtrise ou au PH.D., oeuvrant majoritairement au département de biologie et en chimie dans un cas. Le tableau suivant donne une vue d'ensemble de l'inventaire des équipes de recherche en biotechnologie présenté par cette université.

TABLEAU 1

| LES ACTIVITES DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Activités | Département/faculté | Chercheur principal | no.total cherch. | total assist. |
| Biochimie et culture de cellules végétales | Biologie (Arts et sciences) | Ibrahim | 1 | 4 |
| Biologie moléculaire de la levure. Recombinant DNA | Biologie (Arts et sciences) | Storms | 1 | 4 |
| Génétique et physiologie bactériennes | Biologie (Arts et sciences) | Newman | 1 | 4 |
| | Biologie (Arts et sciences) | Herrington | 1 | 1 |
| | Chimie (Arts et sciences) | Fraser | 1 | - |
| Total | 2 départements | 5 unités | 5 | 13 |

## Commentaires

Une cohésion certaine se dégage de l'ensemble des données soumises au comité par l'université Concordia, données relatives à son avenir tout autant qu'à son passé et à son présent. La "vocation" de service à l'industrie régionale que se sont donnée les départements de chimie et

de biologie - à défaut, pourrait-on croire, de la possibilité de l'orienter vers le médical - met actuellement cette institution dans une position originale par rapport aux universités qui l'entourent, position qu'elle renforce par la pertinence - du moins à première vue - de ses trois champs de recherche relatifs aux biotechnologies, par le dynamisme que manifestent l'organisation de séminaires spécialisés et la planification d'études avancées en biotechnologies. Il serait permis de croire que de se donner une vocation de service à l'industrie tout en ne négligeant pas la recherche fondamentale et que d'être une université de petite taille ne sont pas des facteurs aliénants, et enfin, que d'utiliser au mieux une situation géographique qui la place au coeur d'une ville industrielle peut contribuer à y stimuler de la recherche de pointe.

## 3.2 PORTRAIT DES TENDANCES

Afin de dégager un portrait succinct de l'expertise développée à l'université Concordia, à partir des données descriptives fournies par elle sur les unités de recherche en biotechnologie, nous mettrons en évidence les disciplines concernées par les thèmes de recherche, la taille des équipes, les orientations des activités vers des applications ou non, les techniques développées et les produits recherchés et enfin, la provenance et l'importance des subventions de recherche des équipes.

### Les domaines de recherche en biotechnologie

Comme on a pu le constater au tableau 1, les activités de recherche sont attribuables à cinq chercheurs seniors dont la majorité (4 sur 5) oeuvrent au département de biologie de la faculté des Arts et sciences, à l'exception de Mme Fraser qui est en chimie mais qui travaille avec Mme Newman du département de biologie. Les activités de recherche s'axent sur trois thèmes:

- Biochimie et culture de cellules végétales (1 unité)
- Biologie moléculaire de la levure. Recombinant DNA (1 unité)
- Génétique et physiologie bactériennes (3 unités)

Comme nous l'avons déjà signalé, les autres chercheurs des unités de recherche sont tous des étudiants postulant un PH.D. ou une maîtrise: on ne peut donc à proprement parler d'équipes de chercheurs seniors permanentes.

### L'orientation des projets de recherche en regard des techniques développées et des applications possibles

Le tableau-synthèse qui suit (Tableau 2) montre que c'est l'utilisation de la technique du génie génétique qui cumule le plus grand nombre de mentions présumées* (50%), celle de la culture de cellules vient

* présumées, parce que l'université Concordia n'a pas fourni ces données.

au second rang (33,3%) et l'analyse biochimique en 3ième position (16,7%). En somme, les groupes de recherche utilisent et développent principalement deux techniques reliées aux biotechnologies, le génie génétique et la culture de cellules.

TABLEAU 2

| DESCRIPTION DES ORIENTATIONS DES ACTIVITES DE RECHERCHE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| THEMES | TECHNIQUES | FILIERES D'APPLICATIONS | PRODUITS/ REALISATIONS | TYPES DE RECHERCHE | LIENS AVEC L'INDUSTRIE |
| Biochimie et culture de cellules végétales | . analyse biochimique<br>. culture de cellules | . santé (pharmacologie) | . Produits pharmaceutiques | 1) Fond./ appl.<br>2) appl. | - |
| Biologie moléculaire de la levure. Recombinant DNA | . génie génétique | . alimentaire | - (outils de recherche) | Fond. | Les brasseries Molson |
| Génétique et physiologie bactériennes | . culture de cellules | . environnement<br>. industrie chimique | . épuration des eaux<br>. production de substances chimiques | Fond./appl. | La compagnie Stouffer's (en négociation) |
| | . génie génétique | . agro-alimentaire | . protéines d'origine unicellulaire | Fond./appl. | - |
| | . génie génétique | - | . (outils de recherche) | Fond. | - |

Quant aux filières d'applications visées par les recherches en cours (et aux réalisations envisagées) - que nous avons également établies nous-mêmes - elles sont aussi nombreuses et différentes qu'il y a de projets; il est donc difficile de dégager quelque tendance que ce soit. Trois observations s'imposent toutefois:

- deux projets de recherche sont plutôt de nature fondamentale (Fond.: 33,3%) et visent principalement à développer de nouveaux outils de recherche;

- les autres projets peuvent mener à des applications possibles (Fond./Appl.: 50%) ou à des applications immédiates (Appl.: 16,7%);

- deux unités de recherche ont établi des liens avec une industrie pour effectuer des recherches soit fondamentales, soit avec applications prévisibles.

Les subventions de recherche

Ce relevé, par équipe, des subventions accordées par les principaux organismes subventionnaires nous permet d'identifier l'importance des fonds alloués aux recherches en cours et d'établir une moyenne par chercheur pour l'ensemble d'un secteur.

Dans le cas présent, nous considérons que ces unités recouvrent les activités d'un seul secteur, compte tenu du fait que ces dernières sont concentrées en biologie à vocation non médicale. En outre, l'année-témoin utilisée ailleurs n'a pu être conservée ici comme pertinente parce que deux des cinq chercheurs concernés n'ont commencé réellement leurs activités que cette année, étant des professeurs récemment embauchés.

TABLEAU 3

LES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES EN 1982-1983

| Département | Chercheur principal | CRSNG | FCAC | U. Conc. | Equipement | Total | Moyenne par cherc. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Biologie | Ibrahim | 30,500* | | 5,000 | | 42,900 | |
| | Storms | 26,000 | 14,400* | | | 47,800 | |
| | Newman | 30,000 | 14,500* | | 37,000 | 51,900 | |
| | Herrington | 29,494 | (14,000)* | 2,000 | | 38,894 | |
| Chimie | Fraser | 8,000 | (14,500)* | | | 15,400 | |
| Total | 5 chercheurs | 123,994 | 28,900 | 7,000 | 37,000 | 196,894 | 39,378 |

* Autres équipements inclus.

A la lecture du tableau 3, on observe que la source des subventions est presque dans tous les cas celle du CRSNG et du FCAC, que l'université elle-même contribue de modeste façon à ces projets, que l'obtention de subventions du FCAC a favorisé deux regroupements de chercheurs qui les ont demandées conjointement, et que celles obtenues pour l'appareillage valent pour l'ensemble des unités, comme cela paraît censé.

La moyenne de subventions par chercheur est relativement élevée si on la compare aux moyennes du secteur non-médical de certaines autres universités.

Commentaires

Sous trois thèmes de recherche différents, cinq chercheurs secondés par 13 étudiants gradués oeuvrent majoritairement au sein du département de biologie, de façon relativement isolée. Ils développent et utilisent principalement les techniques du génie génétique et de la culture cellulaire. Leurs orientations de recherche en termes de filières

d'applications et de produits envisagés sont aussi hétérogènes que nombreuses et laissent entrevoir, majoritairement, des possibilités d'applications industrielles. Le niveau de subventions par chercheur, provenant d'organismes reconnus pour leur rigueur, atteint une moyenne acceptable (39,4 k) proportionnellement à la moyenne générale de ce secteur. La pertinence biotechnologique de ces activités sera discutée au point suivant.

## 3.3 ANALYSE DU POTENTIEL DE RECHERCHE ET DE FORMATION AUX ETUDES AVANCEES

Sous cette rubrique, nous cernerons de plus près la "productivité" des équipes de recherche en regard du développement du secteur de la biotechnologie. A cette fin, nous examinerons les subventions de recherche alliées au nombre des publications des chercheurs depuis cinq ans, en regard de la pertinence biotechnologique des projets. Ces considérations de masse critique et de pertinence seront complétées par l'incidence des relations créées avec des organismes ou institutions extra-muros et ce, avec la pondération qui s'impose.

La mise en relation de ces premiers facteurs ne trouve toutefois pas sa justification seulement dans l'évaluation d'un développement possible de la biotechnologie mais aussi dans celle de la capacité de former de la main-d'oeuvre spécialisée et d'assurer aussi une éventuelle relève. Nous mettrons donc en perspective le nombre d'étudiants formés ou en formation. Ces données, gardées en mémoire au moment de l'analyse, figurent au tableau 4.

L'ordre d'apparition des commentaires suivra celui de la présentation des équipes par l'université Concordia et selon les trois thèmes de recherche.

TABLEAU 4

PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS

| Activités | Chercheur principal | No. tot. cherch. | Subventions $ | Pub. 5 ans | Moy. pub. 1 an | Etudiants inscrits en 1983 PH.D/M.Sc. | Etudiants diplômés 5 ans PH.D/M.Sc. | Collaborations extra-muros |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Biochimie et culture de cellules végétales | Ibrahim | 5 | 42 900 | 19 | 3,8 | 3 1 | - 2 | USTL Montpel.<br>Univ. Tours<br>EHEA Toulouse<br>Univ. Lyon I<br>Univ. Kyoto<br>Univ. Munster<br>CNR Ottawa<br>Univ. de Guelph |
| Biologie moléculaire de la levure. Recombinant DNA | Storms | 5 | 47 800 | 5 | 1,0 | 1 3 | - -[1] | Univ. York<br>Univ. Brock<br>Univ. Toronto |
| Génétique et physiologie bactériennes | Newman | 5 | 51 900 | 10 | 2,0 | 2 2 | - 5 | Ontario Research Fondation |
| | Herrington | 2 | 38 894 | 4 | 0,8 | - 1 | - 1 | - |
| | Fraser | 1 | 15 400 | 1 | 0,2 | - - | - -[1] | - |
| | 5 | 18 | 196 894 | 39 | 1,6 | 6 7 | 0 8 | |

[1] M. Storms et Mme Fraser ne sont q[illegible]emment arrivés à cette université

Biochimie et culture de cellules végétales (1 unité/1 chercheur, 4 assistants)

Cette équipe, composée d'un chercheur senior - spécialisé en biochimie et en physiologie des plantes - et de quatre étudiants, présente trois projets, tous trois pertinents aux biotechnologies où le troisième traduit d'abord le développement d'une technique de support: 1) "Biochimie du métabolisme secondaire de la plante"; 2) "Biotechnologie des métabolites secondaires de la plante d'intérêt pharmacologique"; 3) "Localisation intracellulaire des métabolites et des enzymes impliqués dans leur synthèse par des techniques de microscopie électronique et d'immunologie"*.

L'utilisation de cellules végétales en production pharmaceutique est d'une certaine originalité, mais ce chercheur reste toutefois isolé; en effet, à l'exception d'un sujet relié au troisième projet, les thèses en cours des étudiants de l'équipe relèvent davantage de la biochimie classique qu'elles ne s'inscrivent dans l'originalité de ces projets. On ne peut donc escompter que peu de formation directement reliée à ces travaux de pointe pour l'instant.

Par ailleurs, le peu de diplômés formés par ce chercheur depuis cinq ans et une brochette assez impressionnante de collaborations internationales développées et insérées dans des projets de recherche conjoints laissent à penser que ce chercheur s'est absenté du Québec pendant un certain temps et a temporairement délaissé l'enseignement et le tutorat; par contre, la moyenne annuelle de publications (3,8) témoigne d'un niveau d'activité appréciable. En effet, deux recherches sont menées avec des chercheurs d'universités françaises, deux publications conjointes ont été réalisées et des relations scientifiques ont été instaurées avec quatre établissements universitaires français dans le cadre de la coopération France-Québec.

---

* Traduction libre.

Biologie moléculaire de la levure. Recombinant DNA (1 unité/1 chercheur, 4 assistants)

"Expression in yeast of the E. coli leucine operon and the yeast thymidilate synthetase gene".

L'orientation de ce projet de recherche est davantage axée vers la découverte d'outils nouveaux de recherche que vers des applications industrielles prévisibles, pour l'instant - bien que cette recherche soit menée en collaboration avec un chercheur des Brasseries Molson - ce qui semble indiquer son intérêt pour l'industrie. Les thèses des étudiants en formation (1 Ph.D., 3 M.Sc.) sont reliées de façon tout aussi pertinente au projet de recherche. Il apparaît, aux yeux du comité, qu'il s'agit là d'une équipe pleine de promesses, en génie génétique du moins, et qu'il sera utile de laisser à ce jeune groupe le temps voulu pour atteindre des avenues de réalisations encore insoupçonnées. Les subventions de base (40,4k) sans compter l'équipement, sont prévues jusqu'en 1985 et atteignent globalement un niveau appréciable pour un chercheur débutant (47,8 k pour 1982-83). Il ne reste qu'à souhaiter une augmentation du niveau de publications pour les prochaines années, si cela s'avère possible.

Génétique et physiologie bactériennes (3 unités/3 chercheurs, 5 assistants)

Ce thème d'étude, qui regroupe trois équipes, semble des plus intéressant. La première équipe, tient le leadership de recherche dans cette voie depuis plusieurs années*. Elle travaille au développement "of a large-scale process for producing biomass from a photosynthetic autotroph at a commercial interest cost", avec quatre étudiants dont les sujets de thèses sont convergents au projet. De plus, cinq étudiants diplômés depuis cinq ans (5 M.Sc.) ont déjà travaillé dans cette voie de la génétique et de la physiologie bactériennes.

* Ce chercheur a obtenu un brevet canadien pour la production de biomasse de Rhodopseudomonas goldameirii, bactérie photosynthétique pigmentée capable de fixer l'azote.

Malgré un ralentissement des subventions octroyées depuis 1981 (51,9 k pour 1982-83), ce chercheur reste un chef de file dont l'apport n'est pas négligeable et dont la relève devra être assurée par des collaborations étroites et durables.

Le travail de la deuxième équipe sur la production de protéines d'origine unicellulaire reste tout aussi pertinent à la biotechnologie. Le chercheur principal est assisté d'un étudiant en biologie moléculaire (technologie des DNA) dont les préoccupations de recherche sont convergentes au projet. Toutefois, une certaine faiblesse est observée chez ce professeur au niveau des indices de productivité: il y aurait donc avantage à le coopter dans une équipe solide.

Le troisième chercheur de ce secteur, seul et nouvellement arrivé, semble s'être allié au chercheur principal de la première équipe et travaille sur "la détermination des facteurs responsables de l'adhésion et du caractère mucoïde des bactéries..." prenant E. coli comme modèle*.

Enfin, ces trois équipes oeuvrent en génie génétique et en culture de cellules et leur regroupement dans le même laboratoire devrait aiguillonner des collaborations intenses et productives.

---

* Traduction libre

## 3.4 CONCLUSION

Les lignes de force de ces équipes, quoique de petites tailles, se situent en génétique de la levure et des bactéries, en microbiologie industrielle et des métabolites des végétaux. L'apport récent de deux nouveaux chercheurs - l'un biochimiste/microbiologiste et l'autre généticien/biologiste cellulaire -, la présence d'un chef de file en bactériologie et en microbiologie industrielle, la rentrée d'un physiologiste des plantes, l'augmentation appréciable du nombre actuel d'inscrits à ces programmes relativement au nombre de diplômés issus de ces équipes depuis cinq ans, la nature des projets, certains proches, d'autres éloignés des applications industrielles, amènent le comité à ne pas sous-estimer l'apport de l'université Concordia dans l'évolution de la recherche et de la formation en biotechnologie. Ces expertises réunies et l'intégration disciplinaire en profondeur dans certains cas peuvent permettre d'aborder un certain nombre de problèmes fondamentaux intéressant la biotechnologie.

Au niveau des programmes de cours, l'université cite des cours spécifiques de cycles avancés, dont on a vu la liste au point 3.1 de ce chapitre. Dans un contexte où, comme à Concordia, la formation du postulant au grade avancé doit comporter un nombre appréciable de crédits de cours, l'ensemble qui est ici proposé semble pertinent, certains contenus relevant très étroitement la biotechnologie, d'autres donnant accès à des secteurs connexes. Le comité n'a cependant pas en sa possession des descriptifs de cours suffisamment détaillés pour se permettre de pousser plus avant son analyse.

Au titre de la formation, le comité tient à souligner l'avant-gardisme et le dynamisme de cette université, via son département de biologie, dans la préparation de séminaires intensifs touchant des sujets concernant la biotechnologie. Le comité considère ces sessions de très grande qualité et propices à la sensibilisation des étudiants, à l'information et au recyclage des chercheurs; il souhaite qu'elles soient maintenues et ouvertes au plus grand nombre d'intéressés.

Appendice A

Université Concordia

Cours de 1er cycle pertinents à la formation en biotechnologie

Département : Biology

| | |
|---|---|
| • Introductory Microbiology | C270 |
| • Microbial Ecology | C356 |
| • Cell Physiology | C364 |
| • Intermediate Microbiology | C370 |
| • Radiation Biology and Radiotracer Methodology I | C420 |
| • Radiation Biology and Radiotracer Methodology II | C421 |
| • Plant Biochemistry | C441 |
| • Molecular Genetics | C460 |
| • Advanced Genetics | C461 |
| • Immunology | C462 |
| • Advanced Cell Physiology | C464 |
| • Biological Regulatory Mechanisms | C465 |
| • Advanced Topics in Cell and Molecular Biology | C468/ C469 |
| • Microbial Physiology | C470 |

Département: Chemistry

| | |
|---|---|
| • Introductory Biochemistry I | C372 |
| • Introductory Biochemistry II | C373 |
| • General Industrial Chemistry | C380 |
| • Proteins and Lipids-Structure-Function Relationships | C470 |
| • Enzyme Kinetics and Mechanisms | C471 |
| • Selected Topics in Biochemistry | C472 |
| • Selected Topics in Biochemistry | C477 |
| • Advanced Biochemistry Laboratory | C479 |

## Appendice B

### Université Concordia

### Cours gradués intensifs en microbiologie appliquée

**Liste des thèmes et des invités**

- 1978 - May 22 to June 2
  "Current Topics in Industrial Microbiology": F. Tomita, Japan

- 1978 - Dec. 11 to 22
  "Transposable Elements" (Insertion Sequence, Drug, Resistance, Elements, Bacteriophage Mu): M. Howe, Wisconsin

- 1979 - May 28 to June 8
  "Geomicrobiology, principles and applications": C.L. Brierly, New Mexico

- 1980 - June 9 to 23
  "Metabolic Regulation" (Molecular Aspects): D.E. Atkinson, U. Calif.

- 1981 - May 18 to June 1st
  "Microbial Physiology and Continuous Culture": W. Harder, U. Groningen, Netherlands

- 1981 - August 24 to Sept. 4
  "DNA Repair": NE Gentner, Chalk River Nuclear Laboratories

- 1982 - May 10 to 21
  "Recombinant DNA Methodology": T.G. Cooper, U. of Pittsburg

PARTIE II

## 4. UNIVERSITE McGill

### 4.1 DESCRIPTION SYNTHETIQUE DES DONNEES

L'université McGill a présenté au comité un dossier synthétique exposant des données réparties en deux grandes sections:

A. Première section: la biotechnologie à McGill : où elle décrit le rôle qu'elle entend jouer dans le développement des biotechnologies, la formation au premier cycle et aux cycles supérieurs, les programmes de séminaires, les activités de recherche de quelques groupes choisis, et enfin, le mandat du "groupe de recherche en biotechnologie".

B. Deuxième section: exposé détaillé sur les activités de recherche et d'enseignement où elle fait état de tous les projets de recherche, équipe par équipe, et l'inventaire des cours pertinents par département.

La biotechnologie à McGill

Selon le document de l'université Mc Gill, "si la biotechnologie s'offre désormais comme moyen de production de biens et de services, c'est seulement à cause des progrès réalisés dans les sciences fondamentales pertinentes". "Le succès du développement au Canada d'activités industrielles axées sur la biotechnologie et l'épanouissement du potentiel de recherche que cette discipline sous-tend dépendront en grande partie de la formation d'une main-d'oeuvre spécialisée" (cf. document A, p. 1). Il importe donc pour les universités de contribuer à l'établissement de bases solides en recherche et en développement.

En ce sens, l'université McGill se dit apte à relever ce défi sous plusieurs aspects. On trouve chez elle:

- une recherche active dans toutes les sciences fondamentales indispensables au développement de la biotechnologie;
- une grande activité dans le domaine des "sciences requises pour l'extrapolation des données expérimentales et pour l'étude des applications et

des méthodes (génie biochimique), étapes essentielles du développement et de l'optimisation de tous les bioprocessus";

- des chercheurs remarquables dans les domaines liés à la biotechnologie;
- une université située au sein d'une région métropolitaine fortement industrialisée et d'un milieu d'affaires bien établi;
- la proximité et la volonté de collaboration de plusieurs entreprises de biotechnologie canadiennes.

Cette université entend offrir aux chercheurs, aux technologues et aux ingénieurs la formation pluridisciplinaire de base nécessaire à la compétence requise en biotechnologie. A cette fin, elle favorisera une coopération efficace et fructueuse entre des disciplines scientifiques aussi éloignées que le génie génétique et le génie chimique, la chimie et la microbiologie, etc.; elle offrira une série de séminaires interdépartementaux en biotechnologie* et stimulera la formation de spécialistes dans des domaines hautement techniques via ses centres de recherche en biotechnologie.

En ce qui a trait à la formation au 1er cycle, McGill met actuellement au point un programme de 1er cycle avec mineur en biotechnologie qui sera offert aux étudiants inscrits en sciences et en génie. Les cours seront offerts par plusieurs départements, notamment par ceux de biologie, microbiologie, génie chimique et biochimique, chimie, biochimie et physiologie. Ce mineur a pour objectif d'offrir aux étudiants formés en sciences fondamentales au sein de l'un de ces départements, l'occasion d'élargir leur connaissance des disciplines afférentes aux biotechnologies. Elle énumère en outre, une série de cours qu'elle considère pertinents à la formation en biotechnologie pour six de ses départements, notamment en Génie chimique, en Chimie, Biologie, Microbiologie-Immunologie, Biochimie et Microbiologie en agriculture. On trouvera en Appendice A la liste de ces cours.

Aux programmes d'études supérieures, McGill a prévu d'offrir, comme cela se fait ailleurs, la possibilité, aux étudiants gradués en chimie, biochimie ou microbiologie qui s'intéressent à certaines applications de recherche, de poursuivre leurs études supérieures en génie chimique après avoir terminé une année préparatoire (de tronc commun) en génie.

---

* Séminaires Victor M. Cape de biotechnologie.

Elle cite, en outre, un certain nombre de cours spécifiques à la formation en biotechnologie, à savoir:

- Génie chimique (sciences physiques et génie):

| | |
|---|---|
| . Dynamique et contrôle des procédés | 302-571 |
| . Génie de l'alimentation et de la fermentation | 302-594 B |
| . Sujets choisis en génie biochimique | |

- Chimie (sciences physiques et génie):

| | |
|---|---|
| . La chimie des pâtes et papiers | 180-543 A |
| . Progrès récents dans la chimie organique des composés biologiques | 180-628 B |
| . Notions fondamentales de chimie médicinale | 180-626 D |

- Biologie (sciences biologiques):

| | |
|---|---|
| . Techniques avancées de biologie cellulaire et moléculaire | 177-500 L |

- Microbiologie et Immunologie (sciences biologiques et médicales)

| | |
|---|---|
| . Techniques de microbiologie avancée | 528-501 D |

- Centre de recherche sur les cellules et les organes artificiels

Premier, deuxième et troisième cycles:

| | |
|---|---|
| . Organes internes artificiels (physiologie: médecine expérimentale) | 552-517 A |
| . Cellules artificielles, enzymes immobilisées et biomatériaux (physiologie: médecine expérimentale) | 552-518 B |

- Génie agricole (sciences de l'agriculture):

  . Technologie de la production des aliments fermentés 336-610 D

- Microbiologie (sciences de l'agriculture):

  . Enzymologie 362-770 A
  . Régulation enzymatique et organisation cellulaire 362-771 B
  . Microbiologie du sol 362-761 D
  . Bioénergétique 362-750 A
  . Membranes cellulaires et transport 362-751 B

Puis, cette université décrit, d'abord de façon globale avant de le faire de façon détaillée, quels sont ses domaines de recherche de pointe. C'est en:

- génie agricole et alimentaire;
- technologie microbienne et applications industrielles, médicales, environnementales et agricoles;
- génie génétique (développement et applications);
- production d'enzymes (et applications);
- développement d'enzymes et de systèmes cellulaires immobilisés;
- fermentations (technologies, systèmes et méthodes).

Enfin, elle explique la composition et le rôle de son groupe de coordination en biotechnologie qu'elle identifie aussi comme un «groupe de recherche en biotechnologie». Il s'agit d'une équipe multidisciplinaire formée en 1980, composée de chercheurs reconnus de quatre facultés (sciences physiques et génie, sciences biologiques, sciences médicales, sciences de l'agriculture) et dont le mandat consiste à conseiller l'université sur toutes les questions relatives à la biotechnologie. Ses fonctions précises sont les suivantes:

- élaborer des programmes de 1er cycle en biotechnologie;
- établir les programmes de recherche pluridisciplinaires des cycles supérieurs;
- favoriser la diffusion de l'information et les échanges en matière de recherche par la création de programmes de séminaires interdépartementaux et interuniversitaires;
- stimuler la collaboration en recherche dans les domaines de la biotechnologie.

Exposé détaillé sur les activités de recherche et d'enseignement

L'inventaire des travaux de recherche en biotechnologie, soumis par les deux campus de l'université McGill et ses centres de recherche intramuros, ne fournit pas de façon exhaustive les réponses au questionnaire d'enquête. Toutefois, les données essentielles y sont présentes et permettent l'appréciation des activités.

La description de cet inventaire, réalisée par campus et par département, retrace les activités de 61 chercheurs, répartis en 13 équipes, oeuvrant sur deux campus et en 13 départements différents. Le tableau 1 donne un aperçu de cet inventaire tel que présenté par l'université.

Les projets de recherche sur lesquels travaillent ces chercheurs ainsi que les autres données seront mentionnés et/ou utilisés tout au long de cette analyse. Autre précision: le nombre total de chercheurs implique toujours des chercheurs séniors, à tout le moins des membres du département en question (et non pas des étudiants)[1].

[1] Dans la mesure où la vérification s'est avérée possible.

TABLEAU 1

| LES UNITÉS DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Campus | Faculté | Département | Chercheur principal présumé * | No. total chercheurs |
| Collège Mc Donald | Agriculture | Zootechnie | Hayes | 5 |
| " | " | Phytotechnie | Watson | 1 |
| " | " | Génie agricole | Kok | 1 |
| " | " | Microbiologie | Idsiak | 5 |
| | | | | 12 |
| U. McGill, Montréal | Sc. biologiques | Biologie | Verma | 5 |
| " | Sc. biol. et Sc. médicales | Microbiologie-Immunol. | Hassell | 7 |
| " | Sc. médicales | Centre cancérol. et Méd. | Hand | 8 |
| " | Sc. biol. et Sc. médicales | Centre rech. cell. et org. artificiels et Phys. | Chang | 1 |
| " | Sc. biol. et Sc. médicales | Biochimie | Braun | 13 |
| | | | | 34 |
| U. McGill, Montréal | Sc. physiques et génie | Chimie | Belleau/ Ogilvie | 3 |
| " | " " | Génie chimique | Volesky | 7 |
| " | " " | Centre rech. géotechnique | Young | 3 |
| " | " " | Génie civil | Spraggs | 2 |
| | | | | 15 |

* L'université n'a désigné que des équipes, en l'occurence.

Commentaires

Le document auquel nous nous référons, bien qu'il ait été soumis en mars 1983 au comité, avait fait l'objet d'une rédaction bien antérieure à cette date (décembre 1981) et avait probablement depuis subi des mises à jour[1]. Ce qui ressort de cette précision, c'est que l'université avait mis en oeuvre, un peu en pionnière des activités, une planification et un suivi de ses projets et de ses enseignements en biotechnologie depuis déjà près de deux ans. Il n'est à la fois ni étonnant ni déplaisant d'y constater une solide corrélation entre l'ampleur de ses activités - du moins par le nombre imposant des équipes, leur taille et leur concentration dans tous les départements possibles - et les initiatives qu'elle se dit en train de réaliser sur tous les plans de la formation et de la recherche.

[1] La dernière révision en mai 1983 est parvenue au comité trop tard pour qu'il puisse en tenir compte.

## 4.2 PORTRAIT DES TENDANCES

En mettant en relation un certain nombre des données descriptives fournies par l'université, nous tenterons de tracer ici un portrait des tendances, à plusieurs niveaux, qui se dégagent des activités en biotechnologie de cette université.

### Les domaines de recherche en biotechnologie

Tout d'abord, on observera, au tableau 2, la répartition des unités de recherche selon les facultés auxquelles elles sont rattachées. Cette démarche nous donnera un premier aperçu des grands domaines où sont menées les recherches. Une précision s'impose toutefois pour clarifier la lecture de ce tableau: à la faculté des Études avancées et de la recherche à l'université McGill, il n'existe somme toute qu'un seul département de Microbiologie-Immunologie, qu'un seul département de Biochimie et enfin, qu'un seul département de Physiologie mais dans chaque cas à double vocation: en effet, ces départements sont rattachés à la fois à la «section» des sciences biologiques (Biological Sciences) et à la fois à celle des sciences médicales (Medical and Allied Sciences). Comme la provenance des subventions et les énoncés de projets rattachent facilement ces groupes de recherche à des objectifs à caractère médical, il a été aisé de les regrouper avec le Centre de cancérologie et le Centre de recherche sur les cellules et les organes artificiels qui relèvent de la section Médecine. Cependant, pour le département de Biologie (qui relève de la section: Biological Sciences), les choses ne sont pas aussi claires: les subventions de recherche proviennent un peu du secteur médical mais en plus grande partie du CRSNG; les sujets de recherche visent des filières comme l'agriculture et l'énergie et pourraient s'apparenter à la section Agriculture (biologie végétale, fixation de l'azote) ou à Sciences physiques et génie (dégradation de la cellulose). Ceci explique les différents regroupements de Biologie avec agriculture (27,9% des activités), avec Sciences médicales et Sciences biologiques (55,7% des activités) ou avec Sciences et génie (32,8%).

TABLEAU 2

| REPARTITION DES UNITES DE RECHERCHE ET DES CHERCHEURS SELON LES FACULTES | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Facultés (sections) | No. unités | % | Regroupements en % | No. chercheurs | % | Regroupements en % |
| Agriculture | 4 | 30,8 | 38,4 | 12 | 19,7 | 27,9 |
| Sc. biologiques | 1 | 7,6 | | 5 | 8,2 | |
| | 38,4% | | 38,4 | | 32,8 | 55,7 |
| Sc. médicale et biol. | 4 | 30,8 | | 29 | 47,5 | |
| Sc. phys. et génie | 4 | 30,8 | | 15 | 24,6 | |
| TOTAL | 13 | 100% | | 61 | 100% | |

On voit, dans ce tableau, qu'au niveau du nombre d'unités, les activités se répartissent quasi également entre les trois facultés. Néanmoins, le nombre de chercheurs étant plus élevé dans le domaine médical, il est clair qu'une concentration des activités de recherche en biotechnologie a lieu dans les disciplines reliées aux sciences médicales. Les autres secteurs de recherche ne sont pas pour autant négligés ni les pourcentages d'activités négligeables. Il y a donc eu, à McGill, un développement concurrent, peut-être récent mais réel, des préoccupations scientifiques orientées vers le domaine médical aussi bien que non-médical.

## Les filières d'application en biotechnologie

Les mentions de filières d'application visées par les projets de recherche, - tels que signalés dans le document soumis par l'université en réponse aux questions d'enquête, - se répartissent de telle sorte qu'il est difficile de dire que l'essentiel des activités concerne la santé et le médical. Au contraire, une distribution plurivoque soutient ce premier élément du portrait tracé plus haut, à savoir que des préoccupations autres que médicales animent les unités de recherche, comme en fait foi le tableau 3.

TABLEAU 3

| REPARTITION DES FILIÈRES D'APPLICATION VISÉES PAR LES PROJETS | | | |
|---|---|---|---|
| Filières d'application | No. de mentions | % de répartition | % de regroupement |
| Santé | 7 | 26,9 | 26, |
| Agriculture | 5 | 19,2 | 27,0 |
| Foresterie | 2 | 7,8 | |
| Traitement des déchets ... | 4 + (2)* | 23,0 | |
| Agro-aliment. | 4 | 15,4 | 46,1 |
| Energie | 1 + (1)* | 7,7 | |
| TOTAL | 23 + (3)* | 100 | 100 |

* Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de mentions présumées. Ces mentions ont été incluses dans les pourcentages.

Même si ces pourcentages ne peuvent être pris en compte qu'à titre indicatif, il n'en reste pas moins qu'ils dénotent la déconcentration des objectifs de recherche même si une grande proportion du nombre de chercheurs (47,5%) est concentrée en sciences médicales.

Les techniques utilisées et/ou développées

Le tableau 4 vise à identifier les filières où se développent, ou sont utilisées, les techniques afférentes à la biotechnologie. Il se divise en quatre sections: les trois premières distribuent les mentions de techniques utilisées autant de fois qu'il y a de filières d'application citées et ce, par faculté. La 4e section donne un tableau-synthèse de l'ensemble des mentions des techniques utilisées pour toutes les filières d'application évoquées dans tous les projets.

TABLEAU 4

LES TECHNIQUES UTILISÉES ET/OU DÉVELOPPÉES SELON LES FILIÈRES D'APPLICATION

FAC. AGRICULTURE

| TECHNIQUES \ FILIÈRES | Agric.% | Agro.-al.% | Trait. déchets% | foresterie% | santé% | TOTAL | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fermentations | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 : | 11 | 25,6% |
| Sélection souches | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 : | 9 | 21,0% |
| Extraction + pur. | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 : | 8 | 18,6% |
| Génie génétique | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 : | 5 | 11,6% |
| Syst. enzym. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 : | 5 | 11,6% |
| Cult. et fusion cellulaires | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 : | 5 | 11,6% |
| TOTAL | 11 | 10 | 10 | 6 | 6 : | 43 | |
| % | 25,6% | 23,2% | 23,2% | 14,0% | 14,0% | | 100% |

LES TECHNIQUES UTILISÉES ET/OU DÉVELOPPÉES SELON LES FILIÈRES D'APPLICATION

FAC. MÉDECINE/BIOLOGIE *

| TECHNIQUES \ FILIÈRES | Santé% | Diagn.% | Agric.% | Forest% | Agro.-al.% | Trait. déchets % | Energ. % | TOTAL | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Syst. enzym. | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 : | 9 | 18,4% |
| Extract. + pur. | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 : | 9 | 18,4% |
| Génie génétique | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 : | 8 | 16,3% |
| Sélect. souches | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 : | 7 | 14,3% |
| Cult. et fusion cellulaires | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 : | 6 | 12,3% |
| Fermentations | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 : | 3 | 6,1% |
| Génie biochim. | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 : | 3 | 6,1% |
| Imm. matériaux bio-actifs | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 : | 3 | 6,1% |
| Prod. anticorps | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 : | 1 | 2,0% |
| TOTAL | 20 | 5 | 7 | 5 | 5 | 5 | 2 | 49 | |
| % | 40,8% | 10,2% | 14,3% | 10,2% | 10,2% | 10,2% | 4,1% | | 100% |

* Le département de biologie a été inclus en médecine.

TABLEAU 4 (suite)

| LES TECHNIQUES UTILISÉES ET/OU DÉVELOPPÉES SELON LES FILIÈRES D'APPLICATION | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| FAC. SCIENCES PHYSIQUES ET GÉNIE | | | | | |
| TECHNIQUES \ FILIÈRES | Trait. déchets % | énergie % | santé % | TOTAL | % |
| Génie biochim. | (2)* | (1) | 0 | : 3 | 37,5% |
| Fermentations | (1) | (1) | 0 | : 2 | 25,0% |
| Sélect. souches | (1) | (1) | 0 | : 2 | 25,0% |
| Syst. enzym. | 0 | 0 | 1 | : 1 | 12,5% |
| TOTAL | (4) | (3) | 1 | : 8 | |
| % | 50% | 37,5% | 12,5% | | 100% |

* mentions entre parenthèses: présumées.

| LES TECHNIQUES UTILISÉES ET/OU DÉVELOPPÉES SELON LES FILIÈRES D'APPLICATION | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TOUTES LES FACULTÉS | | | | | | | | | |
| TECHNIQUES \ FILIÈRES | Santé% | Diagn.% | Trait. déchets % | Agric.% | Agro.-al.% | Forest.% | Energ. % | TOTAL | % |
| Sélect. souches | 3 | 1 | 2 + (1)* | 5 | 2 | 2 | 1 + (1) | : 18 | 18% |
| Extract. + pur. | 5 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 | : 17 | 17% |
| Fermentations | 2 | 0 | 4 + (1) | 3 | 4 | 1 | (1) | : 16 | 16% |
| Syst. enzym. | 6 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | : 15 | 15% |
| Génie génét. | 4 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | : 13 | 13% |
| Cult. et fusion cellulaires | 4 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | : 11 | 11% |
| Génie biochim. | 1 | 0 | 1 + (2) | 0 | 1 | 0 | (1) | : 7 | 7% |
| Immob. mat. bio. | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | : 3 | 3% |
| Prod. anticorps | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | : 1 | 1% |
| TOTAL | 27 | 5 | 19 | 18 | 15 | 11 | 5 | :100 | |
| % | 32% | | 19% | 18% | 15% | 11% | 5% | | 100% |
| | | | | 69% | | | | 79% | |

* Les mentions entre parenthèses, présumées, ont été incluses dans les pourcentages.

Ce qui ressort de la lecture du tableau-synthèse, c'est la faible prépondérance du développement d'une technique sur une autre, du moins pour les six premières mentionnées. Il serait plus simple de conclure que ce sont: 1/ la production d'anticorps monoclonaux (1%), 2/ l'immobilisation de matériaux bio-actifs (3%), 3/ le génie biochimique (7%) qui sont les techniques les moins développées à McGill et que c'est dans les domaines d'application de l'énergie (5%) et de la foresterie (11%) qu'il se fait relativement le moins de recherche. Par contre, la filière de la santé prend, proportionnellement, une place un peu plus grande que les autres, les six premières techniques y étant particulièrement développées.

Globalement, on pourrait dire que six techniques sont davantage développées dans quatre domaines d'application privilégiés. Ce sont, dans l'ordre:

- la sélection de souches en agriculture, puis en santé, en traitement des déchets et en agro-alimentaire;
- les procédés d'extraction et de purification en santé d'abord, puis en traitement des déchets, agriculture et agro-alimentaire;
- les technologies des fermentations en traitement des déchets, agro-alimentaires, agriculture et santé;
- les systèmes enzymatiques en santé; puis, également et de façon moindre, en traitement des déchets, agriculture et agro-alimentaire;
- le génie génétique en santé d'abord, puis en agriculture.

Des trois premières sections de ce tableau 4, se dégage une absence de monolithisme déjà signalée dès le début de ce portrait. En effet, dans chacune des facultés, des préoccupations d'application très multiples, très diverses sous-tendent les objectifs de recherche, particulièrement en sciences médicales, bien que la double vocation de certains des départements impliqués y soit pour quelque chose. Quoi qu'il en soit, si cette multiplicité des applications visées est due en partie à la structure bi-vocationnelle des départements, elle est aussi due à la taille des équipes et à la richesse des apports collectifs et non, du moins semble-t-il, à l'éparpillement des énergies.

Les réalisations/produits envisagés

Comme c'est le cas plus haut, plusieurs réalisations peuvent faire l'objet d'un seul projet de recherche. L'inventaire des mentions de réalisations/produits envisagés nous permet de voir où sont polarisés les objectifs d'application des recherches. Le tableau 5 retrace cet inventaire mis en relation avec les filières déjà identifiées au tableau précédent. En pourcentage de fréquence d'apparition, il est ainsi plus facile de cerner la multiplicité des produits envisagés dans les projets de recherche.

Ce que la section-synthèse (3 facultés) de ce tableau confirme, c'est la déconcentration des objectifs d'application bien que la réalisation de produits pharmaceutiques (et biologiques) tienne une grande place en terme de pourcentage. En Agriculture, les préoccupations principales visent à renouveler certaines techniques agricoles et horticoles en premier lieu puis, à traiter les pollutions, et à réaliser des produits biologiques ensuite. En Médecine et en Sciences biologiques, la production de produits pharmaceutiques est prépondérante bien que d'autres objectifs soient aussi poursuivis (renouvellement de techniques agricoles, production de protéines). En Sciences physiques et génie, l'effort d'application est centré sur le biotraitement des pollutions principalement; néanmoins d'autres objectifs sont poursuivis en fabrication d'énergie (utilisation de la biomasse à des fins énergétiques) et en produits chimiques et biologiques (pollution, santé).

TABLEAU 5

RÉALISATIONS/PRODUITS ENVISAGÉS EN RELATION AVEC LES FILIÈRES D'APPLICATION SELON LES FACULTÉS

| Facultés | Réalisations/ produits envisagés | No. de mentions | % | Filières d'application | % |
|---|---|---|---|---|---|
| Agriculture | . renouvellement des techniques agricoles et hort. | 3 | 33,3 | agriculture | (25,6) |
| | . biotraitementdes pollutions | 2 | 22,2 | agro-alimentaire | (23,2) |
| | . produits biol. ou pharm. | 2 | 22,3 | trait. déchets | (23.2) |
| | . utilisation biomasse ... | 1 | 11,1 | foresterie | (14,0) |
| | . production protéines ... | 1 | 11,1 | santé | (14,0) |
| | | 9 | 100,0 | | |
| Médecine/ Sciences biologiques | . produits biologiques ou pharmaceutiques | 5 | 62,5 | santé et diagn. | (51,0) |
| | . renouvellement des tech. agricoles et horticoles | 2 | 25,0 | agricult. | (14,3) |
| | . production protéines ... | 1 | 12,5 | forest. | (10,2) |
| | | 8 | 100% | agro-alim. | (10,2) |
| | | | | trait. déchets | (10,2) |
| | | | | énergie | ( 4,1) |
| Sciences physiques et génie | . biotraitement des pollutions | (2) | 40,0 | trait. déchets | (50,0) |
| | . utilisation biomasse | (1) | 20,0 | énergie | (37,5) |
| | . prod. chimiques | 1 | 20,0 | santé | (12,5) |
| | . prod. biologiques | 1 | 20,0 | | |
| | | 5 | 100% | | |
| 3 facultés | . produits biol. ou pharm. | 8 | 36,4 | santé et diagn. | (32,0) |
| | . renouvellement des techniques agric. et hortic. | 5 | 22,7 | trait. déchets | (19,0) |
| | . biotraitement des pollut. | 4 | 18,2 | agriculture | (18,0) |
| | . utilisation de la biomasse à des fins énergét. | 2 | 9,1 | agro-alimentaire | (15,0) |
| | . production de protéines monocellulaires | 2 | 9,1 | foresterie | (11,0) |
| | . produits chimiques | 1 | 4,5 | énergie | ( 5,0) |
| | | 22 | 100,0 | | |

Les subventions de recherche

L'inventaire des fonds alloués aux équipes de chercheurs par les principaux organismes subventionnaires peut fournir une indication de premier ordre sur la caution obtenue des pairs par ces chercheurs et/ou équipes. Le tableau 6 retrace ces subventions pour l'année 1981-1982 qui constitue la seule donnée que nous avions à notre disposition. Il a été difficile toutefois d'y discerner constamment les montants relatifs à des contrats plutôt qu'à des subventions. La colonne «autres» souligne cette difficulté par des chiffres entre parenthèses, qui n'ont pas été comptabilisés et qui cumulent des montants sans provenance identifiée ou carrément en provenance de compagnies - ce qui les apparente davantage à des contrats. La deuxième difficulté rencontrée dans la fabrication de ce tableau a été d'établir des moyennes par équipe, compte tenu du fait que les chercheurs composant l'équipe mentionnée (le département, à toutes fins pratiques) ne sont pas tous subventionnés. Les moyennes doubles servent donc à identifier d'abord la moyenne de l'ensemble de l'équipe par rapport au montant des fonds obtenus, puis celle des chercheurs subventionnés seulement.

Ce tableau nous apprend, qu'à l'exception de la faculté d'Agriculture, les moyennes de subventions par chercheur sont élevées, particulièrement en Sciences biologiques (214 K par chercheur subventionné) et en Sciences physiques et génie (103 K par chercheur subventionné); jusqu'à maintenant, les moyennes élevées de subventions (par rapport à l'ensemble) se retrouvent majoritairement dans le secteur médical. Pris dans leur ensemble, les fonds alloués aux chercheurs de cette université sont supérieurs à ceux des autres universités et la moyenne générale par chercheur est ici près de trois fois plus élevée que celle de l'université Laval. Est-ce le fruit d'une recherche de qualité et d'équipes de recherche consolidées? Il y aurait tout lieu de le croire ... En outre, une observation s'impose: des fonds (+ de 250 K) sont obtenus du gouvernement américain, ce qui apparaît, dans le cadre de cette analyse, unique et probablement relié non seulement

## TABLEAU 6

RÉPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 1981-82, PAR UNITÉ DE RECHERCHE ET PAR FACULTÉ

| FAC. | Département | Cherch. princip. | CRSNG | FCAC | QARC | CRSQ | AGRI-CAN | NRC | CC ** | USA*** | RCI | MRC | AUTRES | TOTAL | Moyenne par chercheur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AGRICULTURE | Zootechnie 5/3 cherc. | Hayes | 32,000 | | | | 8,400 | | | | | | 5,000 | 45,400 | 9.000<br>15,133 |
| | Phytotech. 1/1 cherc. | Watson | 28,705 | | 18,000 | | | | | 12,500 | | | (8,469) | 59,205 | 59,205 |
| | Génie agricole 1/1 cherc. | Kok | | | 12,000 | | | | | | | | | 12,000 | 12,000 |
| | Microbio. 5/4 cherc. | Idaiak | 123,387 | | 7,000 | | | | 18,000 | | | | | 148,387 | 29,577<br>37,097 |
| | 12/9 cher. | S-total faculté | 184,092 | | 37,000 | | 8,400 | | 18,000 | 12,500 | | | 5,000<br>(8,469) | 264,992 | 22,083<br>29,444 |
| PHYSIQUE/GÉNIE | Chimie 3/? cherc. | Belleau | 291,572 | 31,625 | | | | | | | | | 204,434 | 527,631 | 175,877 |
| | Génie chimique 7/6 cher. | Volesky | 162,200 | 33,050 | | | | 31,691 | | | | | 8,000 | 234,941 | 33,563<br>39,150 |
| | Centre rech. géo. 3/1 cher. | Young | 44,500 | 105,700 | | | | | | | | | 307,492 | 457,692 | 152,554<br>457,692 |
| | Génie civil 2/2 | Spraggs | 24,833 | | | | | | 0,306 | | | | | 25,139 | 12,569 |
| | 15.12 ch. | S-total, faculté | 523,105 | 170,375 | | | | 31,691 | 0,306 | | | | 519,926 | 1,245,403 | 83,026<br>103,783 |
| Total, secteur non médical | | 27/21 | 707,197 | 170,375 | 37,000 | | 8,400 | 31,691 | 18,306 | 12,500 | | | 524,926 | 1,510,395 | 55,941<br>71,974 |

TABLEAU 6 (suite)

RÉPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 1981-82, PAR UNITÉ DE RECHERCHE ET PAR FACULTÉ, EN $

| FAC. | Département | Cherc. princip. | CRSNG | FCAC | QARC | CRSQ | AGRI-CAN | NRC | GC** | USA*** | MCI | MRC | AUTRES | TOTAL | Moyenne par chercheur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SC. BIOLOGIQUES ET/OU SC. MÉDICALES | Biologie 5/4 cher.* | Verma | 228,132 | | | | | | | | 37,135 | 36,750 | 553,729 | 855,746 | 171,149 [213,937] |
| | Microbio. 7/7 cher. | Hassell | 86,571 | | | 30,000 | | | 8,818 | | 188,971 | 316,178 | | 630,538 | 90,077 |
| | Centre cancérologie 8/6 cher.* | Hand | | | | | | | | 46,094 | 268,584 | 308,250 | | 622,928 | 77,866 [103,821] |
| | Centre rech. sur cellules + org. 1/1 cherc. | Chang | | | | | | | | | | 72,621 | (22,245) | 72,621 | 72,621 |
| | Biochimie 13/11 ch.* | Braun | | 23,300 | | | | | | 194,551 | 91,876<br>61,475[2]<br>**** | 724,963 | | 1,096,165 | 84,320 [99,651] |
| | 34/29 ch. | S-total, Faculté | 314,703 | 23,300 | | 30,000 | | | 8,818 | 240,645 | 648,041 | 1,458,762 | 553,729<br>(22,242 | 3,277,998 | 96,412 [113,034] |
| Total, secteur Médical | | 34/29 c. | 314,703 | 23,300 | | 30,000 | | | 8,818 | 240,645 | 648,041 | 1,458,762 | 553,729<br>(22,245) | 3,277,998 | 96,412 [113,034] |
| GRAND TOTAL 61/50 chercheurs | | | 1,021,900 | 193,675 | 37,000 | 30,000 | 8,400 | 31,691 | 27,124 | 253,145 | 648,041 | 1,458,762 | 1078,655 | 4,788,393 | 76,498 [95,768] |

* Le premier nombre indique le nombre total de chercheurs de l'équipe. Le deuxième, le nombre réel de chercheurs subventionnés.
** Gouvernement du Canada - tous les ministères.
*** Départements du gouvernement américain (énergie, santé, etc.)
1. Cette moyenne par chercheur a été établie à partir du nombre réel de chercheurs subventionnés.
2. MULTIPLE SCLEROSIS

aux liens scientifiques établis et à la situation géographique des chercheurs mais aussi et surtout à la qualité de la recherche qu'ils y mènent. Bref, plus de quatre millions de dollars est investi dans des recherches dont la pertinence biotechnologique sera évaluée au prochain chapitre.

Commentaires

Une déconcentration des objectifs de recherche en plusieurs domaines de pointe (pollution - énergie - agro-alimentaire; santé; agriculture-foresterie) caractérise la recherche à l'université McGill; un développement concurrent de plusieurs techniques de pointe, une prépondérance (faible toutefois) pour la recherche et l'utilisation de techniques spécialisées dans le secteur médical et un taux élevé de subventions, notamment en Sciences biologiques, au Centre de cancérologie et en Sciences physiques, sont les caractéristiques qui complètent ce portrait. La taille et la concentration des équipes de recherche en départements constitue probablement un facteur positif de développement de la biotechnologie dans cette université. La pertinence et la qualité novatrice des projets pourraient constituer un second facteur positif, comme on le verra tout de suite.

## 4.3 ANALYSE DU POTENTIEL DE RECHERCHE ET DE FORMATION AUX ÉTUDES AVANCÉES

L'examen préalable aux commentaires apparaissant sous cette rubrique a été celui de la «productivité» des équipes de recherche en regard du développement du secteur de la biotechnologie. À cette fin, ont été retenus les subventions de recherche des équipes alliées au nombre de leurs publications en cinq ans en regard de la pertinence «biotechnologique» des projets. Ces considérations de masse critique et de pertinence seront complétées par l'incidence des relations créées par les équipes avec des organismes ou institutions extra-muros et ce, avec la pondération qui s'impose.

La mise en relation de ces premiers facteurs ne trouve toutefois pas sa justification que dans l'évaluation d'un développement prévisible de la biotechnologie mais aussi dans celle de la capacité des équipes de former de la main-d'oeuvre spécialisée, de nouveaux chercheurs, bref, de préparer l'avenir de ce développement. Nous avons donc aussi mis en perspective seul le nombre d'étudiants en formation actuellement, le nombre d'étudiants diplômés ne nous ayant pas été fourni (à quelques exceptions près). Le tableau 7 relate ces données factuelles.

L'ordre d'apparition des commentaires suivra l'ordre de la présentation des équipes par l'université McGill et selon les facultés.

TABLEAU 7

| PRODUCTIVITÉ EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS, ETC. | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FACULTÉ département | Chercheur principal | No. total de cherc. | Subventions en 81-82, en $ | No. de public (5 ans) | Moyenne de public (1an) | Collaborations extra-muros | Etudiants inscrits Ph.D. | M. Sc. | Total | Liens avec l'industrie |
| AGRICULTURE/ | | | | | | | | | | |
| Zootechnie | Hayes | 5 | 45,400 | 22/3 | 1,5 | - | 2 | 3 | 5 | - |
| Phytotechnie | Watson | 1 | 59,205 | 18/1 [1] | 4,5 | - | 0 | 0 | 0 | - |
| Génie agric. | Kok | 1 | 12,000 | 5/1 | 1,0 | - | 0 | 1 | 1 | - |
| Microbiologie | Idziak | 5 | 148,387 | 42/3 | 2,8 | - | 2 | 3 | 5 | - |
| TOTAL, FACULTÉ | 4 unités | 12 | (M= 29,4K) | | (M=2,5) | | | | 11 | |
| Sc. PHYS./GÉNIE | | | | | | | | | | |
| Chimie | Belleau | 3 | 527,631 | ND | - | - | 13 | 5 | 18 | oui [3] |
| Génie chimique | Volesky | 7 | 234,941 | 73/7 | 2 0 | CNR | 8 | 10 | 18 | oui [3] |
| G. tech. Géotec. | Young | 3 | 457,692 | 47/2 | 4,7 | - | 0 | 2 | 2 | oui [3] |
| Génie civil | Spraggs | 2 | 25,139 | 4/2 [2] | 0,5 | - | 0 | 0 | 0 | |
| TOTAL, FACULTÉ | 4 unités | 15 | (M= 103,7K) | | (M=2,4) | | | | 38 | |

1: pour 4 ans
2: pour 2 ans (Spragge) et 6 ans (Gehr)
3: nous des firmes non divulgués

TABLEAU 7 (suite)

| PRODUCTIVITÉ EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS, ETC. | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FACULTÉ département | Chercheur principal | No. total de cherc. | Subventions en 81-82, en $ | No. de public. (5 ans) | Moyenne de public. (1 an) | Collabo. extra-muros | Etudiants inscrits Ph.D. | M. Sc. | Total | Liens avec l'industrie |
| SC. BIOL. et/ou SC. MÉDICALES | | | | | | | | | | |
| Biologie | Verma | 5 | 855,746 | 75/5 | 3,0 | - | 8 | 8 | 16 | Allelix (contrat:2,200K) |
| Microbiol.-Imm. | Hassell | 7 | 630,538 | 75/7 | 2,1 | - | 5 | 1 | 6 | - |
| C. de Cancérol. | Hand | 8 | 622,928 | 90/6 | 3,0 | - | 14 | 0 | 14 | - |
| Médecine | | | | | | | | | | |
| C. rech. cell. et org.-Phytol. | Chang | 1 | 72,621 | 104/1 | 20,8 | - | 3 | 2 | 5 | |
| Biochimie | Braun | 13 | 1,096,165 | 125/11 | 2,3 | - | 23 | 8 | 31 | |
| TOTAL, FACULTÉ | 5 unités | 34 | (M=113,K) | | (M=6,2) | | | | 72 | |
| GRAND TOTAL | 13 unités | 61 | (M=95,7K) | | | | 78 | 43 | 121 | |

- Section Sciences de l'agriculture (4 unités/12 chercheurs)

. Zootechnie

1. «Polymorphismes génétiques de chacun de cinq protéines du lait».
2. «Recyclage des sous-produits de l'agriculture et des résidus végétaux en provende».
3. «Recours à des traitements chimiques, physiques et microbiens pour améliorer l'utilisation des matières cellulosiques lignifiées (paille, bois, canne à sucre, bagasse) dans l'alimentation des ruminants».

. Phytotechnie:

4. «Lutte contre les mauvaises herbes à l'aide d'herbicides microbiens».

. Génie agricole:

5. «Aliments fermentés».
6. «Mise au point d'équipement de fermentation
   - fermentation sur substrat solide du caroube africain
   - mise au point d'un calibrateur de fermentation à électrode *in situ*».

. Microbiologie:

7. «Fermentation industrielle et génétique des levures».
8. «Traitement des déchets alimentaires et industriels».
9. «Résistance antibiotique et génétique des plasmides».
10. «Transformations microbiologiques de l'azote».
11. «Bioénergétique».

La première équipe présente trois projets (1, 2 et 3) dont les deux derniers sont particulièrement pertinents en biotechnologie compte tenu de l'avenir important qui, semble-t-il, est réservé à la dépollution et à l'utilisation de la cellulose, sur le plan environnemental. Le premier projet relève davantage de la génétique et de la chimie que des biotechnologies en tant que telles.

Ce groupe de travail en fermentations industrielles vise, par ces projets, la diminution du coût de l'alimentation des ruminants afin de rendre la production bovine et la production laitière plus rentables. Elle regroupe des compétences en génétique, physiologie et nutrition animale. Cinq étudiants font des études avancées dans le cadre de cette équipe, dont trois des sujets de thèse sont convergents aux projets de recherche.

La deuxième «équipe» (pr. 4) n'est composée que d'un seul chercheur qui travaille sur un sujet de «nouvelle biotechnologie», compte tenu des microorganismes et des techniques utilisés. Malheureusement, ce chercheur productif en termes de publications (4,5 année) et en terme de subventions (M = 59,2 K) n'a pas d'étudiants inscrits à son programme de recherche.

La troisième équipe, composée elle aussi d'un seul chercheur, encadre 1 étudiant et travaille sur les aliments fermentés et notamment, sur la fermentation du caroube africain sur substrat solide; il s'agit là d'activités de génie biochimique qui chevauchent les travaux de MM. Mayer et Rouleau à Polytechnique et qui sont, par les techniques développées, à la fine pointe des biotechnologies. Les réalisations envisagées seraient surtout utiles aux pays du Tiers-Monde (projets 5 et 6 en génie agricole).

La quatrième équipe (projets 7 à 11) constitue un groupe plus important et de qualité, composée de cinq chercheurs, microbiologistes et physiologistes, qui réalise des travaux en fermentations industrielles et en génétique des levures, tous reliés à de la biotechnologie au sens novateur du terme. Elle est remarquable par son excellente productivité au niveau formation puisque cette équipe a formé dix diplômés en cinq ans (4 Ph.D., 6 M.Sc.) et encadre actuellement cinq étudiants gradués (2 Ph.D., 3 M.Sc.).

Commentaires

Ces 12 chercheurs assez productifs, particulièrement au niveau des publications (M = 2,5 ans), réalisent une dizaine de projets très biotechnologiques en fermentations industrielles et en génétique, dans des programmes où sont inscrits 11 étudiants gradués.

- Section Sciences biologiques et/ou Sciences médicales (5 unités/34 chercheurs)

. Biologie

12. «Manipulation génétique (levures)».
13. «Génétique moléculaire de la détermination du sexe chez les mammifères - clonage et caractérisation des gènes qui interviennent dans la détermination du sexe».
14. «Identification et caractérisation des gènes végétaux qui interviennent dans la fixation symbiotique de l'azote».
15. «Régulation végétale et gènes de Rhizobium».
16. «Amélioration des récoltes par génie génétique au niveau de la fixation de l'azote».
17. «Manipulation des gènes susceptibles d'infecter Rhizobium».
18. «Induction enzymatique chez les végétaux».
19. «Interactions plantes-microbes: compréhension des gènes qui interviennent dans le pouvoir pathogène et la symbiose».
20. «Biosynthèse et dégradation de la cellulose».

La première équipe de ce secteur, hybride par ses préoccupations de recherche, est composée de trois biologistes à plein temps et de deux autres, qui travaillent sur de multiples projets, les neuf ci-haut mentionnés - symbiose végétale, fixation de l'azote, génétique des levures, génétique moléculaire chez les mammifères, dégradation de la cellulose - en génie génétique notamment, tous pertinents à la biotechnologie.

Il s'agit là d'un groupe dont l'importance et la qualité ne sont pas négligeables si l'on met en relief la moyenne de subventions (M = 75,5 K) et de publications (M = 3) qui sont très bonnes, les relations créées avec l'industrie Allelix où un contrat de 2,2 millions de dollars a été convenu pour de la recherche sur le transfert des gènes et la fixation de l'azote, et enfin, le nombre d'étudiants gradués inscrits (16) à ces programmes de recherche dont les thèses en cours sont généralement convergentes aux projets. Voilà un lieu de formation en génie génétique et de sensibilisation à certains aspects de la biotechnologie qui pourra contribuer, par sa masse critique et sa pertinence, à l'évolution de ce domaine au Québec.

. Microbiologie-Immunologie

21. «Transfert de gènes (eucaryotes), clonage moléculaire de plasmides/phages de DNA, études des gènes de transformation du DNA de virus de tumeurs, structure et fonction de promoteurs d'eucaryotes».
22. «Clonage moléculaire-plasmides, transposition du phage Mu».
23. «Clonage moléculaire-phage d'un seul brin de DNA, transcription du DNA de polyome».
24. «Bactériologie - infections, immunologie, protéines des cellules des membranes, enzymologie».

La deuxième équipe de cette section, qui réalise les projets 21 à 24, est composée de sept chercheurs productifs mais elle reflète davantage, par l'hétérogénéité de ses projets, un regroupement artificiel plutôt qu'une véritable équipe. On y fait cependant de la biologie moléculaire et de la microbiologie médicale de haute qualité. Six étudiants sont inscrits à ces programmes très bien subventionnés.

. Centre de cancérologie

25. «Fonction des antigènes de tumeurs virales».
26. «Anticorps monoclonaux anti-marqueurs tumoraux».
27. «Fonctions des marqueurs de tumeurs».

Cette équipe (projets 25 à 27) se distingue sous plusieurs aspects: 1/ il s'agit d'une équipe imposante (8 chercheurs), 2/ qui est la seule à travailler sur la production d'anticorps monoclonaux à McGill, 3/ dont la moyenne de subventions par chercheur par année est de 103 K, ce qui est excellent.

Ses objets de recherche la rapprochent de l'Institut du Cancer de Montréal et si elle est convergente à la biotechnologie, c'est davantage par l'utilisation de certaines techniques nouvelles (génie génétique, systèmes enzymatiques, culture et fusion cellulaire, etc.) en biologie moléculaire que par ses objets de recherche proprement dits.

L'aspect imposant des activités de cette équipe est renforcé par la présence de 14 étudiants inscrits au Ph.D. Une telle productivité est difficilement comparable et l'impact de cette équipe en formation de chercheurs peut s'avérer de toute première importance pour le Québec.

. Centre de recherche en cellules et organes artificiels

28. «Mise au point de nouvelles techniques, recherche fondamentale, recherche appliquée, applications cliniques et industrielles dans les domaines suivants: 1/ Systèmes d'enzymes immobilisés: y compris systèmes avec co-facteurs et systèmes à multi-enzymes. 2/ Cellules immobilisées, hormones, drogues ou médicaments et autres matériaux présentant une activité biologique. 3/ Cellules artificielles. 4/ Rein, foie et biotransformateur artificiels. 5/ Techniques de microencapsulement. 6/ Adsorbants. 7/ Substances de remplacement du sang».

Les travaux de cette unité (projet 28) sont à proprement parler ceux d'un chercheur chevronné, directeur d'un centre, et qui travaille de façon plus ou moins isolée (les membres du centre sont cités globalement comme

collaborateurs) sur la mise au point de nouvelles techniques et applications. Sa réputation n'est plus à faire et s'il encadre cinq étudiants gradués, il publie d'autre part de façon assez phénoménale (M = 20,8/an). Toutefois, ses activités ne sont pas toutes jugées très pertinentes à la biotechnologie proprement dite.

. Biochimie

29. «Génie génétique - clonage de DNA à partir de systèmes mammaliens et bactériens - structures et régulations des promoteurs de procaryotes».
30. «Enzymologie appliquée - études de l'activité biologique enzymatique - immobilisation enzymatique - biosynthèse des produits et analyse diagnostique des protéines».

La dernière équipe de ce secteur, qui regroupe 13 chercheurs du département de Biochimie, soit biologistes moléculaires, soit enzymologistes, brille non seulement par sa taille mais aussi par la qualité et la pertinence de ses recherches en génie génétique et en enzymologie appliquée où la recherche de nouvelles molécules en fait de l'enzymologie moderne, de pointe (projets 29 et 30).

La transmission de ce savoir collectif s'opère auprès de 31 étudiants (23 Ph.D., 8 M.Sc.) dont 50% des mémoires et thèses sont pertinents à la biotechnologie. Le reste relève de la biologie moléculaire de base, de la bonne physiologie, etc. et peut conduire, éventuellement, à des préoccupations plus biotechnologiques. La qualité de cette équipe reste, dans tous les cas, garante de l'avenir en formation de chercheurs dans les secteurs hautement spécialisés de la nouvelle biologie comme l'attestent d'ailleurs une très bonne moyenne de publications (2,3/an) et une très élevée de subventions (99 K par chercheur).

Commentaires

Ces équipes constituent des lieux de formation importants en génie génétique, en production d'anticorps monoclonaux, en systèmes enzymatiques, en culture et fusion cellulaires et enfin, en procédés d'extraction et de purification et ce, dans une mosaïque de filières que la double vocation départementale de certaines unités (vers sciences et vers médecine) a contribué à susciter. Soixante-douze étudiants y sont en formation dans 19 projets de recherche conduits par 34 chercheurs généralement productifs, autant en termes de publications parues que de subventions obtenues.

- Section des Sciences physiques et génie (4 unités/15 chercheurs)

. Chimie

31. «Synthèse de gènes».
32. «Synthèse de RNA».
33. «Antibiotiques».
34. «Composés antiviraux».
35. «Chimie de la coagulation du sang».
36. «Dérivés de la cellulose».

Cette équipe regroupe deux des chimistes organiciens les plus éminents du Québec, dont l'un fera partie d'une autre équipe à l'université de Sherbrooke, comme on le verra plus loin. Il n'est pas évident, cependant, qu'ici ce regroupement signifie réellement des travaux de collaboration; le libellé des six projets i.e. l'hétérogénéité des sujets de préoccupations, nous incitent du moins à le croire.

Les projets 31 et 32 se réfèrent à la mise au point d'une synthèse chimique de molécules de DNA et de RNA, se rapprochant des molécules naturelles et qui sont biologiquement actives, dont les applications sont potentiellement prévisibles en santé, agriculture et industrie chimique. Cette démarche est parallèle à celle du génie génétique.

Comme plusieurs types d'immunorégulateurs et de neuroeffecteurs sont faits d'oligopeptides relativement petits, les activités qui se déroulent dans les projets 33 et 34 s'intéressent particulièrement à la question «de la synthèse économique d'oligopeptides actifs, à l'identification de la conformation spatiale active, à l'aide de modelage par computer et, de là, à la reproduction des propriétés désirées dans des analogues moléculaires non-peptidiques, domaine où se situe le médicament de l'avenir» (Belleau, Mc Gill, document complémentaire, février 1983). Ces activités constituent une exploitation des informations acquises dans certaines biotechnologies mais par des techniques chimiques. Pour le comité, il s'agit de voies nouvelles et prometteuses en biotechnologie qu'il convient de ne pas exclure de notre champ. Le peu d'informations fournies ne nous permet pas d'évaluer les projets 35 et 36.

. Génie chimique

37. «Production par fermentation d'acétone-butanol-éthanol à partir de ressources renouvelables».
38. «Optimisation de la biosynthèse d'acétone-butanol-éthanol».
39. «Récupération du combustible liquide des bouillons de fermentation».
40. «Production biochimique de gaz à partir d'hydrogène et de combustible».
41. «Recherche sur les procédés anaérobiques de biosynthèse de combustible liquide».
42. «Utilisation de mutants choisis et d'espèces microbiennes ayant subi des modifications génétiques».
43. «Simulation informatique de procédé de fermentation de combustible liquide».
44. «Optimisation en direct de la séquence production-récupération du bio-combustible».
45. «Mise au point d'équipement, de réacteurs et d'analyseurs de procédés de fermentation spécialisés».
46. «Conception de réacteurs pour les systèmes d'enzymes immobilisés».
47. «Études par lots et études continues sur l'uréase microencapsulée».
48. «Production et caractérisation de surfactants, d'émulsifiants et de dé-émulsifiants microbiens».

49. «Énergie superficielle, adhésion et mouillage aux points de contact de systèmes biologiques».
50. «Mise au point de méthodes microbiennes de récupération assistée du pétrole».
51. «Utilisation de la biomasse microbienne pour la récupération d'éléments du combustible nucléaire».
52. «Matériaux biosorbants pour la récupération, l'enlèvement de métaux/étude du (des) mécanisme (s) de biosorption».
53. «Conversions énergétiques de la biomasse - liquéfaction de la biomasse - gazéification de la mousse de tourbe au moyen d'une vapeur obtenue par combustion de plasma».

Cette équipe de sept chercheurs a des intérêts de recherche fort variés «s'étendant de la simulation informatique des processus de fermentation des solvants industriels et des carburants liquides à la mise au point d'équipements de procédés de fermentation spécialisés, de réacteurs et d'analyseurs. Les autres activités de recherche du groupe vont de la biosorption des métaux lourds et des éléments de carburant nucléaire à la production de surfactants microbiens, d'émulsifiants, de de-émulsifiants et de polymères destinés à des applications fort diverses telles que la récupération assistée du pétrole et la transformation des produits alimentaires». (cf. document A, p. 6).

Dix-huit étudiants travaillent dans ce contexte dans les filières de l'énergie et du traitement des déchets en utilisant les technologies de fermentation.

. Centre de recherche géotechnique

54. «Influence des microorganismes sur le développement de la stabilité des vases».
55. «Produits d'altération, micro-organismes et leur rapport».

56. «Dynamique des étangs de décantation sous l'effet des micro-organismes».
57. «Traitement à l'aide de micro-organismes».

. Génie civil

58. «Réaction d'évitement de la toxicité».
59. «Captage biotique des métaux».
60. «Traitement des eaux usées».

Les quatre premiers projets sont réalisés par trois ingénieurs civils qui travaillent dans des applications nettement biotechnologiques, du moins d'après le titre des projets pour lesquels nous n'avons eu que peu d'informations. Toutefois, le niveau très élevé des subventions et des publications démontrent qu'une qualité indiscutable d'activités est en cause.

En ce qui a trait à la dernière équipe de deux ingénieurs civils, le laconisme de la présentation ne nous permet guère de percevoir - sauf peut-être, dans le projet 60 - la portée biotechnologique de ces travaux.

Commentaires:

Il s'agit d'un ensemble d'équipes productives, encadrant 38 étudiants et dont la moyenne de subventions par chercheur, par année, est très élevée.

## 4.4 CONCLUSION

L'université McGill a manifesté son intérêt pour la biotechnologie depuis plusieurs années déjà. Son premier document, faisant état de ses programmes d'enseignement et de recherche dans ce secteur date de 1981. Nous avons constaté, pendant cette analyse, une solide corrélation entre l'ampleur des activités qu'elle y mène et la planification dont elles font l'objet.

Ce qui caractérise ses activités en biotechnologie, c'est d'abord la concentration de ses unités en équipe qui, à quelques reprises, regroupe un département presque entier. Il arrive que ce regroupement d'activités soit artificiel et ne corresponde pas à des collaborations intradépartementales réelles (comme en chimie) et soit davantage l'expression d'un style de présentation du dossier que celle de la réalité; mais ces cas sont plutôt rares.

La deuxième caractéristique est la taille des équipes de recherche qui peut aller jusqu'à 12 chercheurs seniors (Biochimie), la qualité incontestable des travaux et leur pertinence à l'égard du secteur qui nous occupe.

Une troisième caractéristique, reliée celle-là à la structure même des fonctions départementales qui, dans le secteur des biosciences en particulier, dessert autant les besoins du secteur médical que ceux des sciences biologiques (comme Microbiologie, Biochimie, Physiologie), s'observe dans la déconcentration des objectifs de recherche en plusieurs filières de pointe (environnement, énergie, agro-alimentaire; santé; agriculture, foresterie), dans l'utilisation et le développement de techniques indispensables à la biotechnologie, comme le génie génétique, l'enzymologie, les fermentations, les procédés d'extraction et de purification, la sélection de souches.

Enfin, un niveau élevé de subventions - plus que partout ailleurs en moyenne - ainsi que de publications montre bien que les pairs partagent les commentaires favorables que le comité a émis sur le potentiel de recherche et de formation.

UNIVERSITÉ MCGILL

APPENDICE A

Cours de premier cycle considérés par l'université pertinents à la formation en biotechnologie

- Sciences physiques et du génie

. Génie chimique:

| | |
|---|---|
| Méthodes informatiques en génie chimique | 302-356A |
| Procédés de microbiologie industrielle | 302-373A |
| Principes de procédés chimiques | 302-402B |
| Technologies énergétiques | 301-451 |
| Contrôle des procédés chimiques | 302-455 |
| Contrôle des la pollution industrielle de l'eau | 302-471B |
| (Programme avec mineur pluridisciplinaire en biotechnologie soumis à l'université pour autorisation pour 1983-1984) | |

. Chimie:

| | |
|---|---|
| Chimie organique III (chimie polyfonctionnelle et chimie des biomolécules) | 180-302 |
| Chimie bio-organique avancée | 180-402B |

- Faculté des Sciences biologiques

. Biologie:

| | |
|---|---|
| Biologie moléculaire | 177-200A |
| Biologie et métabolisme cellulaires | 177-201B |
| Génétique moléculaire générale | 177-310B |
| Démarche biophysique dans l'étude de la fonction cellulaire | 177-311B |
| Croissance cellulaire | 177-312A |
| Questions choisies en biophysique et en biochimie de la cellule végétale | 177-315A |
| Activité génétique en cours du développement | 177-320 |
| Structure et fonction génétiques | 177-322A |
| Génétique des cellules somatiques | 177-368A |
| Labor. de biologie cellul. et moléculaire | 177-301/302 |

- Sciences biologiques et sciences médicales

. Microbiologie et Immunologie:

| | |
|---|---|
| Biologie des microorganismes | 528-211A |
| Laboratoire de biologie des microorganismes | 528-212A |
| Physiologie microbienne | 528-323B |
| Questions d'actualités en microbiologie et en immunologie | 528-471A<br>528-472B |

. **Biochimie:**

| | |
|---|---|
| Métabolisme des hydrates de carbone et des lipides | 311 |
| Régulation du métabolisme de l'azote | 312 |
| Structure et fonction des protéines | 450 |
| Acides nucléiques | 454 |
| Chimie biophysique | 404 |
| Laboratoire avancé de biochimie | 460 |

- **Sciences de l'agriculture**

. **Microbiologie:**

| | |
|---|---|
| Méthode de laboratoire en microbiologie | 362-200A |
| Le monde microbien | 362-230B |
| Ecologie microbienne | 362-331B |
| Biologie moléculaire des microorganismes | 362-338A |
| Mécanismes de pathogénicité | 362-341B |
| Génétique moléculaire | 362-342B |
| Immunologie | 362-438A |
| Microbiologie et hygiène alimentaires | 362-442A |

PARTIE II

## 5. UNIVERSITE DE SHERBROOKE

### 5.1 DESCRIPTION SYNTHETIQUE DE DONNEES

L'université de Sherbrooke a présenté au comité un dossier composé de quatre documents comportant:

A. un exposé sur la place de la biotechnologie à l'université de Sherbrooke;
B. deux inventaires des cours offerts par cet établissement et reliés à la biotechnologie;
C. les actes du colloque sur la biotechnologie tenu à l'université de Sherbrooke, les 4 et 5 octobre 1982;
D. un relevé détaillé des activités de recherche en biotechnologie.

La biotechnologie à l'université de Sherbrooke

L'université de Sherbrooke a mis sur pied un Comité de biotechnologie chargé:

- de proposer des contenus de formation aux programmes de 1er, 2e ou 3e cycles, afin d'atteindre les objectifs souhaitables de formation de compétences en biotechnologie. Aux études avancées particulièrement, le comité examinera les activités d'enseignement qui devraient s'inscrire dans les programmes de formation de chercheurs en biotechnologie;

- d'évaluer l'opportunité de mettre en oeuvre un programme de 2e cycle à vocation professionnelle "avec accent sur les cours";

- d'envisager des collaborations interdisciplinaires intra-muros et des collaborations interinstitutionnelles.

L'action amorcée de ce comité et la concertation à laquelle il a donné lieu ont permis à l'université de dégager ses lignes de force, favorables au développement des biotechnologies, qu'elle présente comme étant les suivantes:

- la recherche y tient une place importante et ses pôles d'excellence semblent particulièrement opportuns pour développer les biotechnologies - sciences de la santé, sciences pures, sciences appliquées;

- les programmes de cycles supérieurs correspondant aux préoccupations de recherche pertinentes aux biotechnologies existent, des séminaires conjoints interfacultaires s'y déroulent depuis 18 mois;

- l'insertion sociale de l'institution offre une infrastructure de recherche propice au développement de secteurs de pointe et à la formation de ressources humaines compétentes; cette ouverture se manifeste par des programmes de recherches spécifiques, comme celui sur l'amiante, pour ne citer que cet exemple;

- les thèmes de recherche s'inscrivent dans les orientations de développement de la biotechnologie:
  - . valorisation de la biomasse,
  - . technologie des fermentations,
  - . approches inédites pour modifier des agents thérapeutiques et produire de nouvelles générations de médicaments,
  - . génie génétique et biologie moléculaire appliqués au clonage, à l'analyse de la régulation des gènes d'organismes supérieurs, à la sélection d'hybridomes;

- les ressources humaines sont polarisées autour de cinq disciplines:
  - . microbiologie et biologie moléculaire,
  - . génie chimique et contrôle des procédés,
  - . chimie analytique,
  - . sciences de la fermentation,
  - . enzymologie.

L'université de Sherbrooke s'est, en outre, dotée d'une politique (non coercitive) de brevets, où elle fait les démarches et la mise de fonds nécessaires tout en gardant le chercheur associé sur le plan financier et sur celui de développement. Depuis 1971, près de 200 demandes de brevets ont été déposées par le bureau de la recherche de l'université. Cette dernière considère que ce bureau constitue un atout indispensable pour faciliter le transfert des connaissances et les relations avec les bio-industries.

Inventaire des cours de 1er cycle reliés à la biotechnologie

L'inventaire des cours comportant des éléments de base ou connexes à la biotechnologie, fourni par l'université de Sherbrooke, se résume en une nomenclature de 46 titres de cours qui se retrouvent principalement dans les programmes de 1er cycle en biologie, en chimie, en biochimie ou en génie chimique. Cette liste figure à l'Appendice A du présent exposé.

D'autres cours, ceux du programme de médecine, qui pourraient être associés aux objectifs de formation en biotechnologie, n'apparaissent pas dans cet inventaire, selon le témoignage du vice-recteur à l'enseignement lui-même (document B, p. 1).

Programmes d'études avancées reliés à la biotechnologie

L'université de Sherbrooke décrit, dans le même document, les cours comportant des éléments importants de biotechnologie pour le département de microbiologie de la faculté de médecine et pour les départements de biologie et de chimie de la faculté des sciences, et et identifie, dans la même foulée, les techniques avec lesquelles l'étudiant peut se familiariser par l'intermédiaire de ces cours et par celui des travaux de laboratoire et de recherche. Voici les titres de cet inventaire de cours:

FACULTE DE MEDECINE

Département de microbiologie:

MCR 5601 Ingénierie génétique I
MCR 6101 Ingénierie génétique II

FACULTE DES SCIENCES

Département de biologie:

TSB 700 La culture des tissus
TSB 702 Les acides nucléiques

Département de chimie:

CAN 700 Séparations chromatographiques
CPH 501 Cinétique chimique

De façon plus générale, l'université de Sherbrooke offre un certain nombre de programmes d'études avancées susceptibles d'encadrer et de former des étudiants. Ces programmes sont mentionnés au Tableau 1, lors de l'inventaire des unités de recherche en biotechnologie. Signalons toutefois les particularités de ces programmes:

- à la faculté de médecine, les programmes d'anatomie, de biologie cellulaire, de biochimie, de microbiologie, de physiologie et de pharmacologie sont dispensés, au 2e cycle, conjointement avec la faculté des sciences; les mêmes programmes existent pour le 3e cycle;

- à la faculté des sciences, les programmes de biologie et de chimie présentent les orientations suivantes:

  . biologie: (2e et 3e)
  - botanique et physiologie végétale
  - microbiologie et virologie
  - écologie des insectes et des vertébrés
  - physiologie

  . chimie: (2e cycle)
  - chimie analytique et appliquée
  - chimie organique
  - chimie theorique et spectroscopie moléculaire
  - chimie des solutions et des interfaces
  - chimie bio-organique, bio-physique et bio-analytique

  . chimie: (3e cycle)
  - chimie organique
  - chimie théorique et spectroscopie moléculaire
  - chimie des solutions et des interfaces
  - chimie bio-organique, bio-physique

  Une maîtrise en chimie appliquée (M. Ch. A.) y existe et il est possible, au 1er cycle, de s'inscrire dans un programme coopératif, avec stages pratiques en industrie;

- À la faculté des sciences appliquées, le programme de génie chimique couvre les 3 cycles d'études et son mode de dispensation est de type coopératif. Il existe aussi un programme conjoint avec la faculté des sciences en Environnement.

Les actes du colloque sur la biotechnologie

Les actes du colloque sur la biotechnologie, tenu à l'université de Sherbrooke les 4 et 5 octobre 1982, comprennent un abrégé des communications qui y ont été présentées et, en deuxième partie, une brève présentation des travaux en cours à l'université de Sherbrooke en biotechnologie et dans des domaines connexes.

Les thèmes principaux de cette rencontre ont porté sur:
- la biotechnologie appliquée à la conversion de la biomasse en combustibles et produits chimiques;
- biosciences appliquées et biotechnologie;
- l'utilisation des techniques de génie génétique en biotechnologie;
- les perspectives de développement de la biotechnologie à l'U. de S.

Activités de recherche en biotechnologie

L'université de Sherbrooke a présenté au comité 18 équipes de recherche en biotechnologie sur lesquelles elle fournit, sauf dans un cas, des informations qui répondent de façon assez exhaustive au questionnaire d'enquête. Les données concernant l'équipe de monsieur E. Chornet étaient signalées "à venir" par l'université; le comité n'ayant pas reçu ces informations, il a dû écarter cette 18e équipe de son analyse bien que la description de son projet de recherche apparaissait dans la 2e partie des actes du colloque d'octobre 1982. En effet, dans le cadre d'une analyse des tendances et du potentiel de recherche d'une université où pratiquement toutes les données requises dans l'enquête sont utilisées, cette seule

information reste relativement insuffisante. Compte tenu toutefois de la place que tient ce chercheur et son équipe en sciences appliquées, il sera fait état de son activité de recherche au point 3 de cet exposé.

Les unités de recherche en biotechnologie de l'université de Sherbrooke comportent donc 17 équipes regroupant 38 noms de chercheurs. Soulignons cependant que 11 chercheurs reviennent en liste au moins deux fois: il s'agit donc en réalité de la description des activités (multiples - convenons-en) de 26 personnes, distribuées dans trois facultés et dans neuf départements différents. Le Tableau 1 donne un aperçu de cet inventaire présenté par faculté et par département.

TABLEAU 1

| LES UNITÉS DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Faculté | Département | Chercheur principal | No. total de chercheurs | Voir note |
| 1. Médecine | Microbiologie | Bourgaux | 2 | 1 |
| 2. " | " | Chartrand | 1 | 2 |
| 3. " | " | Chartrand | 4 | 1 |
| 4. " | " | Bastin | 1 | 1 |
| 5. " | " | Thirion | 3 | |
| 6. " | Groupe de recherche sur les hybridomes et les antic. mono. | Talbot | 7 | 1 |
| 7. " | Anatomie et biologie cellulaire | Nigam | 3 | 1 |
| 8. " | Pédiatrie | Pleszczyuski | 1 | 1 |
| 9. " | Biochimie | de Medicis | 1 | |
| 10. " | " | Gibson | 1 | |
| 11. " | Physiologie - pharmacologie | St-Pierre | 2 | 2 |
| 12. " | " | Barabé | 2 | 1 |
| 13. Sciences | Chimie | Jolicoeur | 1 | |
| 14. " | " | Ménard | 1 | 1 |
| 15. " | " | Deslongchamps | 4 | 1 |
| 16. " | Biologie | Poirier | 1 | |
| 17. Sciences appliquées | Génie chimique | Roy | 3 | 1 |
| 3 facultés | 9 départements | 17 équipes | 38 chercheurs (26 personnes) | |

1 Le chercheur principal et/ou un membre de son unité fait partie de deux équipes différentes.

2 Ce chercheur fait partie de trois équipes différentes.

Les projets de recherche sur lesquels travaillent ces équipes, ainsi que les autres données, seront mentionnés et/ou utilisés tout au long de l'analyse qui suit.

Commentaires

L'intérêt que porte l'université de Sherbrooke à la biotechnologie se manifeste de façon positive par une structuration de ses programmes de recherche et de formation actuels et éventuels. En effet, une réflexion s'y poursuit sur les contenus de formation et les programmes pertinents, les échanges interfacultaires y sont institués, les thèmes de recherche y sont très biotechnologiques et un bon nombre de ressources humaines sont polarisées autour de ces thèmes, enfin l'université s'est dotée d'une politique de brevets et d'un bureau mandaté pour l'appliquer; elle a aussi organisé une réflexion collective (colloque) sur des thèmes concernant les biotechnologies.

En dépit toutefois de ces aspects constructifs, une fragmentation des ressources - et oserait-on dire une dispersion - est observable, ne fut-ce qu'à l'examen du Tableau 1, eu égard au nombre d'équipes pour une université de dimension modeste, à leur petite taille et à leur composition quasi interchangeable. Un deuxième constat est l'importance du nombre d'équipes en faculté de médecine par rapport à celui des autres facultés.

Le portrait des tendances dégagé au point suivant tente précisément de tracer une image plus nette des lignes de force de la recherche en biotechnologie à l'université de Sherbrooke.

## 5.2 PORTRAIT DES TENDANCES

Ce portrait, on l'a vu déjà, tente de dégager les tendances de la recherche en biotechnologie à partir de la mise en relation d'un certain nombre d'informations fournies par l'université elle-même lors de l'enquête. Il s'agit ici plus précisément de la mise en évidence de données à caractère plutôt quantitatif que qualitatif, ce dernier aspect étant davantage traité au point 5.3 de la présente analyse.

### Les domaines de recherche en biotechnologie

On observera tout d'abord, à l'aide du tableau-synthèse 2, la répartition quantitative des unités de recherche et du nombre de chercheurs selon les facultés auxquelles ils sont rattachés. Il est à noter qu'une unité de recherche, travaillant sous l'égide du département de microbiologie, est multidisciplinaire en ce qu'elle intègre déjà un chercheur en génie chimique et projette d'intégrer des chercheurs, étudiants et techniciens de disciplines aussi variées que la chimie, la biologie moléculaire, la physiologie microbienne, l'enzymologie, le génie génétique, etc.

TABLEAU 2[1]

REPARTITION DES UNITES ET DES CHERCHEURS SELON LES FACULTES

| Faculté | Département | No. d'unités | % | Regr. % | No. chercheurs | % | Regroup. en % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MEDECINE | Microbiologie | 5 | 29,3 | 70,6 | 11 | 28,9 | 73,7 |
| | Hybridomes | 1 | 5,9 | | 7 | 18,4 | |
| | Anatomie et bio. | 1 | 5.9 | | 3 | 8,0 | |
| | Pédiatrie | 1 | 5,9 | | 1 | 2,6 | |
| | Biochimie | 2 | 11,8 | | 2 | 5,3 | |
| | Phys.-pharmac. | 2 | 11,8 | | 4 | 10,5 | |
| SCIENCES | Chimie | 3 | 17,6 | 29,4 | 6 | 15,8 | 26,3 |
| | Biologie | 1 | 5,9 | | 1 | 2,6 | |
| SCIENCES APPLIQUEES | Génie chimique | 1 | 5,9 | | 3 | 7,9 | |
| 3 facultés | 9 départements | 17 | 100% | | 38 | 100% | 100% |

[1] Ce tableau et ceux qui suivent tiendront compte des équipes telles que présentées, c'est-à-dire avec 38 chercheurs, le décompte en termes de "personnes" (26) s'avérant particulièrement ardu et le rapatriement prioritaire à une unité plutôt qu'à une autre particulièrement hasardeux.

Il se dégage à la lecture de ce tableau, qu'autant en nombre d'unités de recherche qu'en nombre de chercheurs, c'est au département de microbiologie, et en faculté de médecine globalement, que la plus grande partie des ressources est située (70,6%). Dans le secteur non-médical, la part prise par le département de chimie (17,6%) n'est pas négligeable, surtout si l'on considère que l'émergence - et l'intérêt - de la recherche en biotechnologie dans les domaines autres que médicaux est plus récente.

Les filières d'application en biotechnologie

Les mentions de filières d'application visées par les projets - au nombre de 35 - se répartissent de telle sorte que la première lecture du Tableau 3 par filière montre une priorité importante accordée à l'amélioration de la santé (37,1%). Cependant, la multiplicité des domaines visés par les mêmes projets, en médecine comme ailleurs, nous a amenés à effectuer des regroupements empiriques, basés sur les associations les plus fréquentes des domaines mentionnés dans chaque projet. Il devenait donc assez pertinent d'associer l'industrie chimique à la santé (54,3%) d'une part, ou l'industrie chimique au traitement des déchets (28,6%) d'autre part. Autrement, on pouvait isoler "santé" comme un domaine spécifiquement tributaire des recherches en médecine et associer tous les autres domaines parce que majoritairement à vocation non-médicale (62,9%).

TABLEAU 3

| REPARTITION DES FILIERES D'APPLICATION VISEES PAR LES PROJETS | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Filières d'applications | No. de mentions | % de répartition | % de regroupements | |
| Santé | 13 | 37,1 | 37,1 | |
| Industrie chimique | 6 | 17,2 | 54,3 | 28,6 |
| Traitement des déchets... | 4 | 11,4 | 11,4 | 62,9 |
| Agro-alimentaire | 3 | 8,6 | | |
| Agriculture | 3 | 8,6 | 22,9 | 45,7 |
| Foresterie | 2 | 5,7 | | |
| Mines | 2 | 5,7 | 11,4 | |
| Energie | 2 | 5,7 | | |
| Total | 35 | 100% | 100% | 100% |

Quoi qu'il en soit, il apparaît clair que la filière de la santé et celle qui, ici, est connexe à la santé (industrie chimique) occupent une part importante des préoccupations de recherches, que la filière de l'industrie chimique tient un rang notable dans les visées d'application et que près de l'autre moitié des mentions est fragmentée en six, le traitement des déchets occupant la première place. Ces données quantitatives, si elles ne prennent en compte que la fréquence des mentions servent du moins à cerner vers quelles concentrations de filières - sinon vers quel pluralisme - sont orientés les projets de recherche de cette université. Notons ici, marginalement, que le domaine des mines est pour la première fois mentionné dans la partie II de ce rapport; cette préoccupation est parallèle à la mise en marche, par l'université, de son programme de recherche sur l'amiante.

Les techniques utilisées et/ou développées

Le tableau suivant vise d'abord à identifier quelles sont les techniques afférentes aux biotechnologies développées par les chercheurs de cette université. Le fait d'avoir réparti les mentions de techniques, par filières d'application aidera à mettre en relation ces deux éléments et à préciser l'image laissée par le tableau précédent.

Les deux premières sections du Tableau 4 distribuent les mentions de techniques par "secteur", c'est-à-dire médical et non-médical, les affinités des projets des facultés des sciences et des sciences appliquées étant suffisamment évidentes pour permettre un tel regroupement. La troisième section décrit la synthèse des mentions de techniques utilisées de toutes les facultés pour toutes les filières.

Ce qui ressort de l'observation du tableau-synthèse (toutes les facultés), c'est la faible prépondérance du développement d'une technique sur une autre en ce qui a trait aux cinq premières mentionnées, si ce n'est celui des systèmes enzymatiques (17,1%). On y remarque toutefois la présence de "méthodologie analytique" mentionnée comme technique par les groupes de recherche en sciences et en sciences appliquées.

Par ailleurs, il y a lieu de souligner la présence de techniques (moins fréquentées) comme "modelage moléculaire informatisé", "analyse conformationnelle", etc., qui caractérisent notamment les recherches en chimie. Pour compléter la lecture de cette section, nous attirons l'attention sur un développement moins notable des technologies des fermentations.

TABLEAU 4

LES TECHNIQUES UTILISÉES ET/OU DÉVELOPPÉES EN REGARD DES FILIERES D'APPLICATION

| FACULTE DE MEDECINE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FILIÈRES / TECHNIQUES | SANTÉ | % | IND. CHIM | % | TRAIT. DÉCHETS | % | AGRIC | % | MINES | % | AGRO-ALIM. | % | ÉNERGIE | % | : | TOTAL | | | | |
| Génie génétique | 6 | | 1 | | 2 | | 1 | | 1 | | 0 | | 1 | | : | 12 | 24% | | | |
| Systèmes enzymatiques | 4 | | 2 | | 2 | | 1 | | 1 | | 0 | | 1 | | : | 11 | 22% | | | |
| Culture et fusion cellulaires | 5 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | | : | 9 | 18% | | | |
| Extraction et purification | 3 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 0 | | : | 8 | 16% | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 80% | | | |
| Génie biochimique | 2 | | 2 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | | 0 | | : | 5 | 10% | | | |
| Sélection de souches | 1 | | 0 | | 1 | | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | | : | 4 | 8% | | | |
| Production d'anticorps | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | : | 1 | 2% | | | |
| TOTAL | 22 | | 7 | | 7 | | 5 | | 5 | | 2 | | 2 | | = | 50 | | | | |
| | | | 44,0% | | 14,0% | | 14,0% | | 10,0% | | 10,0% | | 4,0% | | 4,0% | = | | 100% | | |
| | | | | | | | 72,0% | | | | | | | | | | | | | |

TABLEAU 4 (suite)

LES TECHNIQUES UTILISÉES ET/OU DÉVELOPPÉES EN REGARD DES FILIERES D'APPLICATION

FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEES

| FILIÈRES / TECHNIQUES | IND. CHIM. | % | AGRO-ALIM. | % | AGRIC | % | SANTÉ | % | FOREST | % | TRAIT. DÉCHETS | % | MINES | % | ÉNERGIE | % | TOTAL | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Méthodologie analytique | 2 | | 1 | | 1 | | 0 | | 2 | | 2 | | 0 | | 1 | | 9 | 35,4% |
| Modelage molécul. infor. | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 4 | 14,8% |
| Analyse conformat. | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 4 | 14,8% |
| Synthèse organique | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 4 | 14,8% |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | 77,8% |
| Analyse et caractérisation | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 2 | 7,4% |
| Fermentations | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 2 | 7,4% |
| Systèmes enzymatiques | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 1 | | 0 | | 2 | 7,4% |
| TOTAL | 6 | | 5 | | 4 | | 4 | | 3 | | 3 | | 1 | | 1 | | 27 | |
| | | 22,2% | | 18,6% | | 14,8% | | 14,8% | | 11,1% | | 11,1% | | 3,7% | | 3,7% | | 100,0% |
| | | | | | | | | | → 70,4% | | | | | | | | | |

Tableau 4 (suite)

LES TECHNIQUES UTILISÉES ET/OU DÉVELOPPÉES EN REGARD DES FILIERES D'APPLICATION

TOUTES LES FACULTÉS

| FILIÈRES / TECHNIQUES | SANTÉ | % | IND. CHIM | % | TRAIT. DÉCHETS | % | AGRIC | % | AGRO-ALIM. | % | MINES | % | ÉNERGIE | % | FOREST | %: | TOTAL | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Systèmes enzymatiques | 5 | | 2 | | 2 | | 1 | | 0 | | 2 | | 1 | | 0 | : | 13 | 17,1% |
| Génie génétique | 6 | | 1 | | 2 | | 1 | | 0 | | 1 | | 1 | | 0 | : | 12 | 15,8% |
| Culture et fusion cell. | 5 | | 1 | | 1 | | 1 | | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | : | 9 | 11,8% |
| Méthodologie analytique | 0 | | 2 | | 2 | | 1 | | 1 | | 0 | | 1 | | 2 | : | 9 | 11,8% |
| Extraction et Purification | 3 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | : | 8 | 10,5% |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | 67,0% |
| Génie biochimique | 2 | | 2 | | 0 | | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | : | 5 | 6,6% |
| Modelage moléculaire informatisé | 1 | | 1 | | 0 | | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | : | 4 | 5,3% |
| Analyse conformat. | 1 | | 1 | | 0 | | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | : | 4 | 5,3% |
| Synthèse organique | 1 | | 1 | | 0 | | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | : | 4 | 5,3% |
| Sélection de souches | 1 | | 0 | | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | : | 3 | 3,9% |
| Analyse et caractérisation | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 1 | : | 2 | 2,6% |
| Fermentations | 0 | | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | : | 2 | 2,6% |
| Production d'anticorps | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | : | 1 | 1,4% |
| TOTAL | 26 | 34,2% | 13 | 17,1% | 10 | 13,2% | 9 | 11,8% | 7 | 9,2% | 5 | 6,7% | 3 | 3,9% | 3 | 3,9% : | 76 | 100,0% |
| | | | | | | | | | 76,3% | | | | | | | | | |

Globalement, on pourrait avancer que la fréquence des mentions sert du moins à déterminer - de façon quantitative - que cinq techniques sont davantage développées dans quatre filières d'application plutôt privilégiées. Ce sont, dans l'ordre:

- les systèmes enzymatiques en santé, puis en industrie chimique, en traitement des déchets (et en mines);
- le génie génétique en santé, puis en industrie chimique et en agriculture;
- la culture et fusion cellulaires en santé, puis en industrie chimique, traitement des déchets et agriculture;
- la méthodologie analytique en industrie chimique, traitement des déchets (et foresterie);
- les procédés d'extraction et de purification en santé et dans une plus faible proportion en industrie chimique, traitement des déchets, agriculture, (agro-alimentaire, mines);
- le génie biochimique en santé, industrie chimique (et enfin, en agro-alimentaire);
- etc.

Par ailleurs, on constate que c'est le domaine de la santé qui recueille le plus grand pourcentage de mentions de techniques utilisées (34,2%), ce qui incite à revoir les Tableaux 1, 2 et 3 où l'importance du médical est là aussi confirmée par les taux de répartition des unités de recherche, des filières visées, etc.

Dans les deux premières sections, il serait utile d'observer le pluralisme du développement des techniques dans une variété de filières pour le secteur médical bien que l'amélioration de la santé soit l'objectif prioritaire (44%), et le particularisme des techniques utilisées en Sciences dans une variété encore plus grande de filières considérant le nombre plus restreint d'équipes et de chercheurs impliqués.

Les réalisations/produits envisagés

Comme on l'a vu déjà, la réalisation de plusieurs produits peut être envisagée dans le cadre d'un seul projet de recherche. L'inventaire des mentions de réalisations/produits envisagés nous permet de cumuler une indication supplémentaire sur les visées de recherche des équipes en biotechnologie. Le Tableau 5 met en pourcentages le nombre de mentions relevé quant aux réalisations envisagées et ce, par secteur; la répartition des filières d'application (cf. Tableau 4) est reprise ici pour mémoire.

Ce que la dernière section du Tableau 5 (les 3 facultés) révèle, c'est la dépolarisation des produits envisagés en neuf sphères différentes (bien que souvent convergentes) - ce qui peut nous amener à convenir d'une certaine dispersion, compte tenu du nombre de chercheurs impliqués (26) - bien que la réalisation de produits biologiques et/ou pharmaceutiques y tienne une place prépondérante (33,3%); si on s'avisait de joindre à ce dernier pourcentage ceux du "traitement du cancer" et d'"outil diagnostique", on obtiendrait plus de 40% des produits (44,4%) visant l'amélioration de la santé sans compter la part de "produits chimiques" qui peut viser le même objectif.

Une corrélation s'impose avec les conclusions du Tableau 3 puisque la fréquence d'apparition des produits envisagés (produits pharmaceutiques, produits chimiques, utilisation de la biomasse...) rejoint celle des filières d'application (santé, industrie chimique, traitement des déchets...). La présence de la "lixiviation des minéraux" est à signaler, cette université étant la seule à mentionner cette réalisation envisagée dans les travaux de recherche.

TABLEAU 5

REALISATIONS/PRODUITS ENVISAGES EN RELATION AVEC LES FILIERES D'APPLICATION SELON LES FACULTES

| Facultés | Réalisations/ produits envisagés | No. de mentions | % | Filières d'applications | % |
|---|---|---|---|---|---|
| Médecine (12 unités) | - produits biologiques ou pharmaceutiques | 7 | 38,9 | Santé | (44,0%) |
| | - produits chimiques | 4 | 22,2 | Ind. chimique | (14,0%) |
| | - traitement du cancer | 2 | 11,1 | Trait. déchets | (14,0%) |
| | - outil diagnostique | 1 | 5,6 | Agriculture | (10,0%) |
| | - utilisation de la biomasse à des fins énergétiques | 1 | 5,6 | Mines | (10,0%) |
| | - biotraitement des pollutions | 1 | 5,6 | Agro-alimentaire | ( 4,0%) |
| | - production de protéines | 1 | 5,5 | Energie | ( 4,0%) |
| | - lixiviation des minéraux | 1 | 5,5 | | |
| | | 18 | 100% | | |
| Sciences et sciences appliquées (5 unités) | - utilisation de la biomasse à des fins énergétiques | 3 | 33,4 | Ind. chimique | (22,2%) |
| | - produits biologiques ou pharmaceutiques | 2 | 22,2 | Agro-alimentaire | (18,6%) |
| | - produits chimiques | 2 | 22,2 | Agriculture | (14,8%) |
| | - biotraitement des pollutions | 1 | 11,1 | Santé | (14,8%) |
| | - méthodes de régulation de bio-procédés | 1 | 11,1 | Foresterie | (11,1%) |
| | | 9 (1) | 100% | Trait. déchets | (11,1%) |
| | | | | Mines | ( 3,7%) |
| | | | | Energie | ( 3,7%) |
| 3 facultés (17 unités) | - produits biologiques ou pharmaceutiques | 9 | 33,3 | Santé | (34,2%) |
| | - produits chimiques | 6 | 22,2 | Industrie chimique | (17,1%) |
| | - utilisation de la biomasse à des fins énergétiques | 4 | 14,8 | Traitement des déchets | (13,2%) |
| | - traitement du cancer | 2 | 7,4 | Agriculture | (11,8%) |
| | - biotraitement des pollutions | 2 | 7,4 | Agro-alimentaire | ( 9,2%) |
| | - outil diagnostique | 1 | 3,7 | Mines | ( 6,7%) |
| | - production de protéines | 1 | 3,7 | Energie | ( 3,9%) |
| | - lixiviation des minéraux | 1 | 3,7 | Foresterie | ( 3,9%) |
| | - méthodes de régulation de bio-procédés | 1 | 3,7 | | |
| | | 27 | 100% | | |

(1) Une unité n'a pas mentionné de produits envisagés

Les subventions de recherche

Comme nous l'avons fait pour les universités précédentes, il sera fait état ici des fonds alloués aux équipes de chercheurs par les principaux organismes subventionnaires en tant qu'indicateur de premier ordre de la caution obtenue des pairs par ces chercheurs et/ou ces équipes. Le Tableau 6 retrace les fonds obtenus pour 1981-82, en guise d'année-témoin. La clarté des données fournies par l'université nous a permis d'identifier avec précision la provenance des subventions, sauf dans un cas, celui du groupe de M. Deslongchamps où le calcul pour une année a été fait approximativement, les données ayant été fournies de façon très globale, et les provenances, de façon parfois imprécise. Dans le cas du groupe de M. Talbot, aucune donnée n'a été fournie, ni dans le 2e projet de M. Chartrand ni dans celui de M. Ménard.

L'absence de données dans ces trois derniers cas est venue complexifier davantage l'établissement de moyennes réelles par équipe et par secteur puisque déjà, la composition des équipes relate la participation de 38 chercheurs mais ne cumule de fait que la présence de 26 personnes. Le parti a été pris d'établir les totaux et les moyennes par équipe selon les données fournies par équipe, sans égard au fait que plus d'un chercheur se retrouve dans deux ou trois projets différents mais en tenant compte du fait que les mêmes subventions ne semblent pas apparaître plus d'une fois. A la fin, la moyenne générale par personne a pu être établie pour rendre compte, avec plus de réalisme, du taux de subventions par chercheur dans cet établissement.

Ce que révèle la lecture de ce tableau, c'est que la moyenne la plus élevée se retrouve en chimie, comme c'est le cas aussi pour McGill, et que l'ensemble des équipes réunissant sciences et sciences appliquées cumule la

## TABLEAU 6

## RÉPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 81-82 PAR UNITÉ ET PAR FACULTÉ

| DÉPARTEMENT | CHERCHEUR PRINCIPAL | CRM | CRSNG | FCAC | INC | NCI | ACDM 1 | FCMR 2 | FCMC 3 | IRDA | GQ 4 | QC 5 | TOTAL | MOYENNE PAR CHERCHEUR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MICROBIOLOGIE (11/6 cherch)* | Bourgaux | | | | 84 993 | | | | | | | | | |
| | Chartrand | 30 313 | | | 41 000 | | | | | | | | | |
| | Chartrand | - | | | - | | | | | | | | | |
| | Bastin | 43 162 | | | 36 999 | | | | | | | | | |
| | Thirion | 89 708 | | | 51 150 | | | | | | | | | |
| | S-total | 163 183 | | | 214 142 | | | | | | | | 377 325 | 62 888** |
| HYBRIDOMES (7/0 cherch) | Talbot | | | | ? | | | | | | | | - | - |
| ANATOMIE ... (3/3 cherch) | Nigam | | | | 72 419 | | | | | | | | 72 419 | 24 140 |
| PÉDIATRIE (1/1 cherch) | Pleszczyuski | 30 000 | | | | | 48 500 | | | | | | 78 500 | 78 500 |
| BIOCHIMIE (2/2 cherch) | de Medicis | 31 779 | 13 000 | | | | | | | | | | | |
| | Gibson | 68 847 | | | | 28 964 | | | | | | | | |
| | S-total | 100 626 | 13 000 | | | 28 964 | | | | | | | 142 590 | 71 295 |
| PHYSIOLOGIE-PHARMACOLOGIE (4/4 cherch) | St-Pierre | 33 600 | 71 000 | | | | | 18 780 | | | | 4 410 | | |
| | Barabé | 29 900 | | | | | | | 8 500 | | | | | |
| | S-total | 63 500 | 71 000 | | | | | 18 780 | 8 500 | | | 4 410 | 166 190 | 41 548 |
| SOUS-TOTAL (médical) | 28/16 cherch. | 357 309 | 84 000 | | 286 561 | 28 964 | 48 500 | 18 780 | 8 500 | | | 4 410 | 837 024 | 29 894 [52 314]** |

TABLEAU 6 (suite)

REPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 81-82 PAR UNITE ET PAR FACULTE

| DEPARTEMENT | CHERCHEUR PRINCIPAL | CRM | CRSNG | FCAC | INC | MCI | ACDM 1 | FCMR 2 | FCMC 3 | IRDA | GQ 4 | GC 5 | TOTAL | MOYENNE PAR CHERCHEUR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CHIMIE (6/5 cherch) * | Jolicoeur | | 42 000 | | | | | | | | 23 000 | | | |
| | Ména 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | Deslongch. | | 221 990 | 250 000 | | | | | | | 150 000 | | | 114 498 |
| | S-total | | 263 990 | 250 000 | | | | | | | 173 000 | | 686 990 | 137 398 ** |
| BIOLOGIE (1/1 cherch) | Poirier | | | | | | | | | 71 188 | | | 71 188 | 71 188 |
| GENIE CHIMIQUE (3/3 cherch) | Roy | | 64 000 | 17 700 | | | | | | | | 15 000 | 96 700 | 32 237 |
| SOUS-TOTAL (non-médical) | 10/9 cherch.* | | 327 990 | 267 700 | | | | | | 71 188 | 173 000 | 15 000 | 854 878 | 85 488 |
| | | | | | | | | | | | | | | 94 984 ** |
| GRANDS TOTAUX | (38 cherch) (26 personnes) | 357 309 | 411 990 | 267 700 | 286 561 | 28 964 | 48 500 | 18 780 | 8 500 | 71 188 | 173 000 | 19 410 | 1 691 902 | 44 524 |
| | | | | | | | | | | | | | | 65 071 ** |

* Le premier nombre indique le nombre total de chercheurs de l'équipe. Le deuxième, le nombre réel de chercheurs subventionnés.
** La moyenne par chercheur a été établie à partir du nombre réel de chercheurs subventionnés.
1 Association canadienne pour la distrophie musculaire.
2 Fondation canadienne des maladies du rein.
3 Fondation canadienne des maladies du coeur.
4 Gouvernement du Québec - tous les ministères.
5 Gouvernement du Canada - tous les ministères.

moyenne la plus forte par chercheur subventionné (95k), moyenne égale au secteur médical de McGill (94k). Comparativement aux autres universités, le secteur médical de Sherbrooke est relativement moins pourvu qu'ailleurs, tandis que la moyenne générale par chercheur subventionné pour toutes les facultés impliquées se situe à un bon niveau (65k). Bref, plus d'un million et demi de dollars est consacré à des recherches en biotechnologie dans cette université, recherches dont la pertinence sera évaluée au prochain chapitre.

Commentaires

Une polarisation des objectifs de recherche en santé et, de façon moins importante, en industrie chimique, caractérise la recherche en biotechnologie à l'université de Sherbrooke; d'autres domaines de pointe ne sont pas pour autant laissés pour compte - traitement des déchets, agro-alimentaire, agriculture, foresterie, mines, énergie - et constituent des cibles secondaires, pour l'instant.

Le développement concurrent de plusieurs techniques de pointe, comme les systèmes enzymatiques, le génie génétique, la culture et fusion de cellules, les procédés d'extraction et de purification, le développement relativement inusité de techniques particulières en Sciences et Sciences appliquées soulignent la pertinence et l'originalité des recherches dans les secteurs médical et non-médical. Un taux de subventions élevé en chimie et relativement acceptable dans l'ensemble sont les caractéristiques qui complètent ce tableau d'ensemble.

Par contre, la parcellisation des énergies révélée dans la multiplication un peu artificielle des équipes et la multiplicité des tâches assumées par chacun des chercheurs soulèvent des inquiétudes sur les plans de la continuité, de la qualité. Le comité est en droit de se demander si la consolidation des équipes - plutôt que leur dispersement - n'est pas davantage une garantie de productivité et de qualité. L'examen qui suit fournira probablement des réponses à ces questions.

## 5.3 ANALYSE DU POTENTIEL DE RECHERCHE ET DE FORMATION AUX ETUDES AVANCEES

L'examen qui a précédé les commentaires qui apparaissent sous cette rubrique a été celui de la "productivité" des équipes de recherche en regard du développement du secteur des biotechnologies. A cette fin, ont été examinées les subventions de recherches des équipes, alliées au nombre de leurs publications en cinq ans, en regard de la pertinence "biotechnologique" des projets. Ces considérations de masse critique et de pertinence ont été complétées par l'incidence des relations créées par les équipes avec des organismes ou institutions extra-muros et avec l'industrie et ce, en toute pondération.

La mise en relation de ces premiers facteurs ne trouve pas sa justification que dans l'évaluation d'un développement prévisible des biotechnologies mais aussi dans celle de la capacité des équipes de former de la main-d'oeuvre spécialisée, de nouveaux chercheurs, bref, de préparer l'avenir de ce développement. Nous avons donc aussi mis en perspective le nombre d'étudiants inscrits actuellement à ces programmes et le nombre de diplômés depuis cinq ans, issus de ces équipes/chercheurs. Le Tableau 7 relate ces données factuelles.

Le comité disposait aussi, évidemment, de la description des projets de recherche, de leurs possibilités d'applications, des collaborations internes escomptées, etc. Ces données ont aussi servi de base à notre évaluation dont voici globalement le résultat.

**Tableau 7**

**PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS, ETC.**

| Département | Chercheur principal | No. total de cherch. | Subventions 81-82 | No. publications (5 ans) | Moyenne de public. (1 an) | Collaborations extra-muros | Etudiants inscrits Ph.D./M.Sc. | Total | Etudiants diplômés (5 ans) Ph.D./M.Sc. | Liens avec l'industrie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Microbiologie | Bourgaux | 2 | 84,993 | 13/2* | 1,6 | - | 1 3 : | 4 | 1 4 | - |
| | Chartrand | 1 | 71,313 | 12/1* | 3,0 | - | 1 2 : | 3 | 0 0 | - |
| | Chartrand | 4 (1) | - | NP | NP | - | 1 - : | 1 | NP NP | - |
| | Bastin | 1 | 80,141 | 6/1* | 1,5 | - | 2 1 : | 3 | 0 2 | - |
| | Thirion | 3 | 140,858 | 18/2* | 2,3 | Jackson Labo. (USA) | 4 : | 4 | 1 2 | - |
| | | 11 | (M:62,8k) | | | INRA (France) | | | | |
| Hybridomes | Talbot | 7 (2) | ND | ND | - | - | - - | NP | NP | - |
| Anatomie | Nigam | 3 | 72,419 | 23/3* | 1,9 | Un. Mc Gill<br>Un. of West. Ont. | 1 1 : | 2 | 1 3 | - |
| Pédiatrie | Pleszczynski | 1 | 78,500 | 31/1 | 6,2 | UCLA (USA)<br>Un. Mc Gill | 0 1 : | 1 | 0 1 | - |
| Biochimie | de Medicis | 1 | 44,779 | 3/1* | 0,8 | - | 0 2 : | 2 | 1 2 | Fromagerie St-Benoît |
| | Gibson | 1 | 97,911 | 18/1 | 3,6 | Un. Toronto<br>N.I.H.<br>I.C.R.S. (USA)<br>Un. Yale (USA) | 0 2 : | 2 | 2 0 | - |
| Physiologie - Pharmacologie | St-Pierre (3) | 2 | 127,790 | 67/1 | 13,4 | IAF<br>Un. Calgary<br>U. de M. (St-Hya.)<br>CNRS (France)<br>Inst. Rech. clin. | 0 3 : | 3 | 0 2 | - |
| | Barabé (3) | 2 | 38,400 | 18/1 | 3,6 | - | | NP | NP | - |
| Total: | 12 unités | 28 | (M:52,3k) | | (M:3,8) | | : | 25 | 22 | |

Tableau 7 (suite)

PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS, ETC.

| Département | Chercheur principal | No. total de cherch. | Subventions 81-82 | No. publications (5 ans) | Moyenne de public. (1 an) | Collaborations extra-muros | Etudiants inscrits Ph.D./M.Sc. | Total | Etudiants diplômés (5 ans) Ph.D./M.Sc. | Liens avec l'industrie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chimie | Jolicoeur | 1 | 65,000 | 16/1 | 3,2 | IRCHA (France) | 0 2 : | 2 | 0 1 | - |
| | Ménard | 1 | ND | 14/1 | 2,8 | - | 4 5 : | 9 | 0 5 | - |
| | Deslongchamps | 4 | 621,990 | 129/4 | 6,5 | Hôp. Sacré-Coeur | 1 0 : | 1 | 4 8 | Bristol labs (USA) |
| Biologie | Poirier | 1 | 71,188 | 21/1* | 5,3 | Un. Texas<br>Un. Strasbourg | 0 1 : | 1 | 0 2 | |
| Génie chim. | Roy (4) | 3 | 96,700 | 28/1 | 5,6 | CNRC (Halifax)<br>EMR (Canada)<br>Un. Laval | 0 4 : | 4 | NP | IREQ<br>Sandwell B. (Ont.) |
| | 5 unités | 10 | (M:95k) | | (M:4,7) | | : | 17 | 20 | |

* Pour 4 ans seulement.

1 On retrouve ces 4 chercheurs dans d'autres équipes.

2 Il s'agit d'un groupe multidisciplinaire réunissant des chercheurs de plusieurs facultés.

3 MM. St-Pierre et Barabé participent à chacune des 2 équipes.

4 Les 2 autres chercheurs sont chercheurs principaux de 2 autres unités.

ND Non disponible.

NP Non pertinent.

Secteur médical

- Microbiologie: (5 unités/11 chercheurs)

"Application du génie génétique à l'étude de l'excision du génome du virus du polyome" et
" Intégration et excision de séquences virales et cellulaires dans le génome de cellules eucaryotiques".

Ces deux recherches, regroupant en tout trois chercheurs travaillant les uns avec les autres, orientées vers la compréhension du cancer, s'apparentent à la biotechnologie surtout par l'emploi de la technique du génie génétique bien que les perspectives de développement technologique n'y soient pas très claires. Elles sont toutefois si semblables que leur distribution en deux équipes distinctes a paru un peu superfétatoire aux yeux du comité. Si l'un de ces chercheurs souhaite ainsi distinguer sa productivité, il est à souhaiter que de si petites équipes se concertent largement et mettent en commun le fruit de leurs recherches à caractère plutôt fondamental.

"Structure et fonction des gènes précoces des virus oncogènes à DNA".

Dans le même sens, cette recherche en manipulations génétiques, menée par un chercheur isolé, et dont l'objectif de développement n'est pas encore focalisé de façon nette, ne pourrait-elle pas être insérée dans les préoccupations d'une équipe consolidée en génie génétique? Il apparaît au comité qu'il n'y a pas intérêt à fragmenter ainsi les ressources, surtout quand elles totalisent six à sept personnes.

"Les gènes de métallothionéines: structure, régulation et applications possibles"

Cette recherche, en génie génétique principalement, menée par deux chercheurs et un professeur visiteur, envisage la superproduction de protéines d'intérêt médical, ou commercial, ou encore industriel pour le captage des métaux lourds. Cependant, le peu de convergence de l'origine des subventions des chercheurs (FCMR et INC) avec les filières visées (santé, mais aussi agriculture, mines, traitement des déchets...) laisse penser que les avenues de développement entrevues - si elles sont théoriquement possibles - ne pourront probablement pas être l'objet d'application à court terme. Notons toutefois les collaborations établies avec un laboratoire du Maine (U.S.A.) et avec l'I.N.R.A. en France.

"Valorisation de la lignine à l'aide de catalyseurs biologiques: un projet multidisciplinaire à l'université de Sherbrooke"

La lignine est un polymère très complexe qui pourrait, théoriquement, fournir une douzaine de produits d'intérêt, dont des composés aromatiques tels le phénol et le benzène. Cette recherche, instaurée sous l'égide de la faculté de médecine et regroupant pour l'instant trois chercheurs du département de microbiologie et un chercheur de génie chimique, vise apparemment à marier l'expertise médicale à l'ingénierie. Il s'agit vraisemblablement d'un projet important, tendu vers l'avenir et désirant démontrer - à juste titre - les bénéfices que le développement des biotechnologies peut tirer de l'interdisciplinarité. D'autres chercheurs du département de chimie y sont désignés comme collaborateurs internes mais dont le projet principal est précisé ailleurs. On escompte regrouper éventuellement autour de ce projet une vingtaine de chercheurs, étudiants et techniciens dans des domaines d'expertise aussi variés que le génie chimique, la biologie moléculaire, le génie génétique, la physiologie microbienne, l'enzymologie, la chimie analytique, les fermentations. On compte entre autres sur les développements récents en génie génétique pour améliorer la vitesse de conversion du processus biologique.

Le comité se permet toutefois de souligner que l'interdisciplinarité, pour être, doit trouver sa forme dans des projets communs à plusieurs disciplines mais aussi dans une démarche interconnexionnée qui se traduit, la plupart du temps, dans des publications communes et des résultats interdépendants. Il est donc à souhaiter que ce regroupement ne perpétue pas l'allure artificielle qui le caractérise pour l'instant et prenne une orientation décisive.

Le comité observe cependant que l'équipe en génie chimique à l'université de Sherbrooke est bien équipée pour faire la valorisation et l'analyse des sous-produits de transformation bien qu'elle utilise peu, pour l'instant, de procédés à proprement parler biotechnologiques.

Commentaires:

Dans tous ces projets, l'apport du génie génétique est important; 15 étudiants sont actuellement inscrits à ces programmes et dix diplômés ont émergé de ces rangs depuis cinq ans. Par ailleurs, le peu d'orientations à court terme vers des applications de ces projets n'a pas favorisé de liens avec l'industrie.

Nous ferons ici une entorse à notre processus habituel, celui de présenter tous les projets d'une même faculté d'une seule foulée, pour introduire tout de suite un projet du département de chimie et les activités de celui de génie chimique à cause de leur étroite relation entre eux et avec le projet de valorisation de la lignine dont nous venons de parler.

Pour ce qui est de la recherche qui nous intéresse en

- chimie (1 unité/1 chercheur), il s'agit de:

"Pyrolise sous vide de la biomasse"

et pour le département de

- génie chimique (1 unité/3 chercheurs) de:

"Développement de la pyrolyse à pression réduite pour la production de combustibles liquides et de produits chimiques à partir de la biomasse".

Cette dernière recherche, conduite par un chercheur productif qui connaît bien les méthodes d'analyse des sous-produits de transformation, comme nous l'avons déjà signalé plus haut, travaille avec des procédés physico-chimiques dont il n'est pas évident pour tout le monde qu'ils se rattachent à de la biotechnologie. Son apport récent à cette équipe multidisciplinaire de valorisation de la lignine pourrait aviver son intérêt pour ce secteur de recherche et l'alimenter adéquatement.

Mentionnons, outre ces deux projets peut-être prometteurs en biotechnologies, les travaux de M. Chornet, dont nous avions proposé du moins de citer le titre n'ayant pas plus de renseignements à notre disposition, mais dont les liens avec l'équipe multidiciplinaire sont probablement serrés:

"Valorisation de la biomasse par voie de fractionnement et hydrolyse acide de la cellulose au moyen de réacteurs à court temps de contact et à cisaillement élevé. Dépolymérisation des différents constituants de la biomasse et de la tourbe...".

Secteur médical (suite)

- Groupe de recherche sur les hybridomes/anatomie et biologie cellulaire/pédiatrie (3 unités/11 chercheurs):

La deuxième équipe "fer de lance" de l'université de Sherbrooke semble ici toute désignée: un groupe en immunodiagnostic travaille sur "La production d'anticorps monoclonaux qui pourraient réagir spécifiquement contre des déterminants antigéniques sur des cellules tumorales". Ces anticorps peuvent devenir un excellent moyen de diagnostiquer la présence de métastases cancéreuses. L'utilisation des hybridomes permettra aussi l'étude de toute une série de molécules biologiques encore mal connues.

Cette recherche réunit sept chercheurs de différentes disciplines médicales, dont deux chercheurs dirigeant les deux autres unités et travaillant sur le même sujet. Trois étudiants sont inscrits dans ces programmes et quatre diplômés en sont issus. Cette équipe se propose de devenir un "centre pour la formation du personnel scientifique intéressé à apprendre les techniques immunologiques de détection et de transformation biologique" oeuvrant ainsi dans le même sens que l'unité des hybridomes de l'I.A.F., que l'équipe de M. Labrie à Laval, que Bio-endo...

- Biochimie (2 unités/2 chercheurs):

"Etude des bactéries halophiles", "Etudes de la pyruvate kinase du foie des mammifères", et recherche sur la caractérisation de "VK-1 kappa chains in terms of amino acids and/or DNA sequence..."

Ces projets, de génie génétique principalement, sont l'objet de deux équipes différentes, de deux chercheurs isolés. Le dernier projet - à caractère fondamental - s'intéresse à la structure de l'information génétique, à sa caractérisation et aux moyens de la modifier, et vise surtout à fournir à la recherche de nouveaux outils. Quatre étudiants sont inscrits dans ces programmes et cinq en sont issus depuis cinq ans.

- Physiologie/pharmacologie (2 unités/4 chercheurs):

"Mise au point d'essais radioimmunologiques pour différents peptides..." "Production d'anticorps..." semble suivre davantage la voie des biotechnologies nouvelles que la "Détection précoce de l'amiantose et du cancer du poumon" en appliquant à temps les méthodes thérapeutiques conventionnelles.

Ici, particulièrement, il faut souligner l'éclatement des équipes et des projets puisque ces deux équipes de deux chercheurs contiennent les deux mêmes personnes, dispersées sur des objets de recherche hétérogènes, bien qu'une kyrielle de collaborations internes et externes soit citée comme soutien.

Secteur des sciences et des sciences appliquées

- Biologie (1 unité/1 chercheur)

"Bioessai rapide de toxicité nucléaire pour des cancérigènes pancréatiques à l'aide du dosage d'un enzyme qui répond à la présence de bris dans l'ADN: la poly (ADP-ribose) polymérase".

Bien que ce chercheur utilise des techniques qui s'apparentent, jusqu'à un certain point, aux biotechnologies, les objectifs de sa recherche ne sont pas encore clairs et prennent pour l'instant, un caractère plutôt fondamental. Il faudrait suivre l'évolution de ce projet. Notons par ailleurs que l'expertise de ce chercheur sera probablement intégrée à celles de l'équipe qui s'occupe de la "valorisation de la lignine".

- Chimie (3 unités/6 chercheurs)

Exceptés l'"étude des procédés d'épuration biologiques" et "Pyrolise sous vide de la biomasse" déjà cités et qui semblent particulièrement pertinents à la biotechnologie (et qui sont assurés d'appuis d'autres chercheurs), la caractéristique essentielle de ce secteur, c'est la réunion sous l'étiquette de Centre de chimie bio-organique, de quatre chercheurs dont certains de grande réputation et d'une productivité étonnante à tous points de vue, qui s'intéressent "aux applications modernes de la chimie organique et de la biologie aux sciences de la santé et particulièrement à la chimiothérapie du système immunitaire, au développement d'agents diagnostiques...". En fait, par des méthodes chimiques, on tente d'y fabriquer des molécules nouvelles sans l'apport de cellules vivantes.

On dira que, strictement parlant, il ne s'agit pas là de biotechnologie. Selon l'avis du comité, il s'agit là de recherches qui sont à l'avant-garde dans les biosciences afférentes aux biotechnologies et dont les retombées industrielles pourraient être énormes. La valorisation de cette équipe consolidée, forte, productive ne peut que favoriser l'innovation de pointe et la collaboration d'autres chercheurs dans la recherche de nouvelles voies de synthèse de polypeptides, d'antibiotiques, de vitamines essentielles, etc.

Commentaires

Bref, dans le secteur médical, 25 étudiants sont en formation (22 ont été diplômés depuis cinq ans) dans cinq équipes - en réalité - de chercheurs, préoccupés du traitement du cancer, de la production d'anticorps monoclonaux, de la recherche d'outils fondamentaux en génie génétique et de la valorisation de la lignine... et dont la moyenne des publications par chercheur est bonne.

Dans le secteur Sciences et Sciences appliquées, 17 étudiants sont en formation dont 10 en chimie dans des groupes de recherche, préoccupés de: "Pyrolyse sous vide de la biomasse" et d'"Applications modernes de la chimie bio-organique".

La moyenne des publications par chercheur est particulièrement élevée pour le secteur non médical ainsi que celle des subventions, comme on l'a déjà vu. Les collaborations extra-muros et avec l'industrie y sont relativement plus développées que dans le secteur médical.

## 5.4 CONCLUSION

Une des caractéristiques importantes des activités de formation et de recherche en biotechnologie à l'université de Sherbrooke est la volonté de structurer les programmes d'enseignement et de recherche, de donner aux activités une planification directrice; son comité de biotechnologie en est une première manifestation. Notons que déjà des cours spécifiques sont dispensés dans trois domaines d'expertise: en génie génétique, en culture de tissus et en chimie.

De plus, cette institution possède un atout majeur favorisant le développement d'une main-d'oeuvre susceptible de s'intéresser aux applications industrielles ou du moins, sensibilisée à l'approche industrielle des recherches: sa maîtrise en sciences appliquées de type coopératif, i.e. supervisée conjointement avec l'industrie et comportant des stages professionnels en industrie.

Une autre caractéristique de cette université réside dans l'orientation de ses travaux de recherches spécifiques à la biotechnologie qui est résolument tendue vers l'avenir; cette tension est observable dans les activités de trois regroupements où une concentration des meilleurs éléments en termes de ressources humaines est à remarquer:

- en valorisation de la matière ligneuse, projet à l'état d'amorce et, potentiellement très biotechnologique, une tentative d'interdisciplinarité intégrée, vise la fusion d'expertises réelles de deux champs disciplinaires qui sont le génie génétique et le génie chimique. Cette orientation vers la xylochimie ayant pour but l'obtention de nouveaux produits chimiques dérivés de la matière ligneuse nous apparaît une des voies les plus prometteuses pour cette université;
- au Centre de chimie bio-organique où se font des recherches d'avant-garde et prometteuses en fabrication de molécules synthétiques et en recherche orientée vers de nouvelles voies de synthèse, par une équipe solide, bien rodée et bien subventionnée;

- à l'unité des hybridomes et plus globalement en génie génétique et en virologie médicale, on est à développer des outils de recherche sur des techniques prépondérantes en biotechnologies.

On constate donc, après un examen du potentiel, que malgré une impression de répartition de filières de recherche un tant soit peu classique, i.e. davantage centrée sur les aspects médicaux, des énergies de grande qualité sont aussi investies dans des recherches originales par leurs objets, leurs techniques, par leurs filières non-médicales et enfin, par l'interdisciplinarité, indispensable en biotechnologies, qu'elles tentent volontairement de satisfaire.

Le développement de techniques actuellement très importantes en biotechnologies est aussi avantagé à cette université: les systèmes enzymatiques, le génie génétique, la culture et la fusion cellulaires.

Enfin, le comité croit que la fragmentation des ressources humaines en prolifération d'unités de recherche - quelles qu'en soient les raisons - tel qu'on l'a observé dès le début de ce chapitre, reste le talon d'Achille de cette institution qui aurait tout intérêt à assurer une meilleure coordination de son potentiel de recherche et de formation - comme c'est le cas pour plusieurs autres institutions -, où plus d'un million et demi de dollars soutiennent les travaux de 26 personnes et dont la moyenne de subventions par chercheur est appréciable.

Appendice A

Université de Sherbrooke

INVENTAIRE DES COURS COMPORTANT DES ELEMENTS DE BASE OU CONNEXES A LA BIOTECHNOLOGIE

Biochimie générale
Physiologie des hormones végétales
Techniques d'analyse biologique
Physiologie microbienne
Virologie
Physiologie cellulaire
Endocrinologie
Microbiologie
Physiologie végétale
Grands groupes bactériens
Systématique microbienne
Génétique
Immunologie
Initiation à la recherche microbiologique
Différenciation cellulaire
Physiologie de la reproduction
Enzymologie
Techniques biochimiques
Biologie moléculaire
Virologie appliquée
Laboratoire de biochimie avancée
Biochimie appliquée
Protéinases et hormones
Techniques d'analyse chimique
Analyse instrumentale
Travaux pratiques d'analyse instrumentale
Techniques analytiques
Travaux pratiques de chimie analytique avancée
Analyse organique
Méthodes électroanalytiques
Spectroscopie analytique
Travaux pratiques de chimie organique avancée
Synthèse organique
Chimie organique avancée
Chimie physico-organique avancée
Phénomène de transfert
Opérations unitaires
Thermodynamique chimique
Calcul des réacteurs
Traitement des eaux usées industrielles
Cinétique
Système réactionnel solide-fluide
Génie sanitaire
Application des micro-processeurs
Chimie des interfaces
Chimie des solutions

PARTIE II

## 6. INSTITUT ARMAND-FRAPPIER

### 6.1 DESCRIPTION SYNTHETIQUE DES DONNEES

L'Institut Armand-Frappier a soumis au comité un volumineux dossier composé de pièces de toutes natures (description de projets, budgets de réaménagement, évolution de clientèles, publications, etc.) mais dont aucune ni l'ensemble n'apporte de réponses exhaustives à toutes les questions de la grille d'enquête. Succinctement, ce dossier comporte les éléments suivants:

A. Finalités, orientations, axes de développement et structure. Outre la description indiquée en titre, ce document fournit des informations sur l'évolution du financement, du recrutement, de la clientèle et de l'équipement;

B. La biotechnologie à l'I.A.F. et le potentiel de développement bio-industriel du groupe Frappier, qui retrace l'orientation générale des programmes de développement, les productions en cours et leurs applications éventuelles, les technologies nouvelles à l'I.A.F. et la liste des chercheurs par centre;

C. Sept documents déposés auprès du comité lors de l'enquête présentant chacun des éléments sur les activités de sept centres de recherche et de service à l'I.A.F.. Ces documents nous ont fourni la description de certains projets de recherche par unité et par centre;

D. Liste des publications du personnel scientifique oeuvrant dans les biotechnologies;

E. Liste des grades octroyés par l'I.A.F. depuis 1977 et un relevé des inscriptions pour 1983;

F. Bilan de la décennie 1972-1982;

G. Projet de programme de maîtrise ès sciences en microbiologie appliquée.

Voici plus en détail, comment l'Institut présente son rôle et sa contribution en biotechnologies.

Finalité de l'Institut et axes de développement

La finalité, les orientations et les axes de développement de l'Institut sont ainsi définis par sa charte:

- poursuivre des recherches en microbiologie, virologie, immunologie, médecine préventive et hygiène, et dans les sciences connexes, en vue de l'amélioration de la santé publique, du développement industriel et de l'utilisation des ressources naturelles;

- contribuer à la formation de spécialistes au niveau des études avancées;

- offrir des services (gouvernement, industrie, ...) dans les domaines de ses recherches;

- fabriquer et vendre des produits utilisés en biologie et en médecine humaine et animale;

- utiliser aux fins de recherche et d'enseignement les fonds recueillis par l'Institut.

En bref, cette finalité pourrait se résumer en: recherche orientée en santé, enseignement supérieur, production de services et production de biens.

En recherche-développement, l'Institut valorise actuellement:

1. la recherche fondamentale orientée vers des domaines présentant un intérêt scientifique, économique ou social, immédiat ou potentiel;

2. la recherche orientée vers l'acquisition de connaissances et de techniques nouvelles;

3. le développement expérimental en vue de la production de matériaux, produits ou services nouveaux.

Le personnel scientifique affecté à la recherche-développement et à la formation se répartit dans six centres* et comporte 63 chercheurs dont les réalisations saillantes en recherche et développement sont déjà nombreuses, comme la mise au point d'un premier vaccin polyvalent contre la méningite, d'une nouvelle classe de médicaments anti-viraux, d'un virus semi-artificiel influenza et rage, d'une nouvelle génération de vaccins DCT, pour ne citer que celles-là. L'intensification des activités de transfert technologique s'appuiera sur la création récente d'une direction chargée de promouvoir cet aspect du développement en biotechnologies.

La vocation biotechnologique de l'Institut

Le substrat premier des recherches menées à l'Institut demeure la cellule vivante et les techniques auxquelles on a recours sont celles de culture et fusion cellulaires, de fermentations, de biologie moléculaire appliquée, d'extraction, caractérisation et exploitation de produits chimiques ou biologiques de ces cellules en vue de la production de divers biens et services axés sur la santé (90% du budget de recherche y est consacré).

En biotechnologie, l'Institut consacre 75% des fonds de recherche au développement des domaines biomédical ou biovétérinaire. Ses projets actuels ont pour objet:

* Bactériologie, immunologie, médecine vétérinaire, sciences appliquées à l'alimentation, virologie, épidémiologie et médecine préventive.

1. la santé humaine (vaccins, médicaments, produits diagnostiques et anticorps monoclonaux, enzymes de restriction);

2. la santé animale (vaccins);

3. l'agro-alimentaire et les biocombustibles;

4. l'environnement.

De nombreux "centres de références" internes (hybridomes, bio-synthèses, biologie moléculaire, culture de cellules, etc.) soutiennent le développement de ces projets pour lesquels l'Institut privilégie l'accélération (agro-alimentaire, environnement) ou l'accentuation (santé). Selon l'Institut, ses installations matérielles et techniques (pour lesquelles un investissement majeur a été consenti en 1982-1983) permettent l'exploitation des techniques afférentes aux biotechnologies, telles que:

- le génie génétique;
- le génie enzymatique;
- la fusion et la culture cellulaires;
- les fermentations;*
- l'exploitation de procédés de fabrication de produits biologiques.

Selon l'Institut, la présence internationale reste un volet supplémentaire de sa "vocation" biotechnologique, compte tenu de ses interventions biomédicales au Togo, de ses collaborations actuelles avec l'Institut Pasteur et l'Université de Liège, et compte tenu de l'accueil qu'il réserve aux étudiants étrangers stagiaires dans cette institution.

---

*: L'I.A.F. s'est doté de deux unités de fermentation qui permettent la production massive de bactéries, dont un fermenteur de haute performance (250L).

Activités de l'Institut en biotechnologie

Le recensement des travaux de recherche en biotechnologie qui a été retenu de l'abondante documentation fournie est celui comportant suffisamment d'éclaircissements pour permettre la mise en forme des données par équipe et/ou par projet, les orientations générales d'un centre ou d'une unité fournissant peu de prise à l'examen de "pertinence biotechnologique" des activités qui s'y déroulent.

Cet inventaire approximatif décrit les activités de 30 unités de recherche, réparties en trois centres distincts et regroupant les noms de 67 chercheurs. Toutefois, la répétition au sein de différentes équipes des mêmes noms de chercheurs nous amène à préciser que les activités biotechnologiques présentées par l'Institut sont articulées autour de 34 personnes (31 chercheurs, 3 assistants) attachées (ou rapatriées par l'Institut lui-même) à trois centres de recherche, soit:

- Centre de bactériologie: 10 chercheurs

- Centre de virologie: 16 chercheurs et assistants
  1 chercheur du Centre d'immunologie
  1 chercheur du Centre de production et activités commerciales
  2 personnes du Centre de médecine vétérinaire

- Centre de recherche en sciences appliquées à l'alimentation (C.R.E.S.A.L.A.):
  4 chercheurs et assistants

Comme on peut le constater dans le tableau dressé de l'inventaire (Tableau 1), les unités de recherche apparaissent sous des appellations d'activités, désignées par l'Institut lui-même.

TABLEAU 1

| LES GROUPES DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE | | | |
|---|---|---|---|
| Activités (groupes) | Centres/ sous-programmes | Chercheur principal | No. total de chercheurs |
| 1. Vaccins et substances antibactériennes | Centre de recherche en bactériologie/ Neisseria | Portelance | 5 |
| 2. " " | Centre de recherche en bactériologie/ Mycobactéries | Ishaque | 2 |
| 3. Biodégradation et biotransformation | Centre de recherche en bactériologie/ biomasse | Chahal | 4 |
| 4. " " | Centre de recherche en bactériologie/ environnement | Beaudet | 4 |
| 5. " " | Centre de recherche en bactériologie/ les produits naturels | Samir | 1 |
| 6. Virologie moléculaire | Centre de recherche en virologie | Trudel | 3 |
| 7. " " | " " | Hamelin | 1 |
| 8. " " | " " | Arora | 1 |
| 9. " " | " " | Thibodeau | 3 |
| 10. " " | " " | Descôteaux | 2 |
| 11. " " | " " | Belloncik | 2 |
| 12. " " | " " | Belloncik | 1 |
| 13. " " | " " | Belloncik | 1 |
| 14. " " | " " | Hamelin | 1 |
| 15. " " | " " | Berthiaume | 2 |
| 16. Ecovirologie | Centre de recherche en virologie | Belloncik | 2 |

TABLEAU 1 (suite)

| LES GROUPES DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE | | | |
|---|---|---|---|
| Activités (groupes) | Centres/ sous-programmes | Chercheur principal | No. total de chercheurs |
| 17. Ecovirologie | Centre de recherche en virologie | Belloncik | 1 |
| 18. " | " " | Hamelin | 7 |
| 19. " | " " | Payment | 2 |
| 20. " | " " | Descôteaux | 1 |
| 21. " | " " | Berthiaume | 1 |
| 22. " | " " | Berthiaume | 2 |
| 23. Biotechnologie (biomimétisme) | Centre de recherche en virologie | Lecomte | 5 |
| 24. " | " " | Lecomte | 3 |
| 25. " | " " | Hamelin | 1 |
| 26. " | " " | Thibodeau | 2 |
| 27. " | " " | Boudreault | 1 |
| 28. " | " " | Arora | 1 |
| 29. Support à la recherche (hybridome) | Centre de recherche en virologie | Lecomte | 1 |
| 30. Bioalimentation | Centre de recherche en sciences appliquées à l'alimentation (C.R.E.S.A.L.A.) | Gagnon | 4 |
| 30 unités | 3 centres | | 67 |

Les projets de recherche sur lesquels travaillent ces chercheurs ainsi que les autres données dont nous disposons seront mentionnés et/ou utilisés tout au long de cette analyse.

Il est indispensable d'ajouter à cet inventaire que, bien que le comité n'ait pas eu en main le libellé des projets de recherche en cours dans les autres centres de recherche - immunologie et médecine vétérinaire, par exemple - des projets similaires s'y réalisent.

En outre, il paraît pertinent de signaler ici la structure particulière de cet Institut de recherche appliquée qui, contrairement aux universités, dispose, en plus de ses centres de recherche, d'une unité de Production et activités commerciales chargée de la mise au point industrielle et de la fabrication (production) des produits de la recherche et d'une unité de support (contrôle de la qualité).

Cette composante de "modélisation" des recherches en produits commerciaux n'existe, de façon systématique, qu'à l'I.A.F.: l'apport de cette dimension bio-industrielle - assumée sporadiquement par les chercheurs eux-mêmes dans les autres universités - fait de l'Institut un lieu où tous les volets inhérents aux biotechnologies (biosciences, biotechnologies, bio-industries) peuvent être développés, du moins dans les champs d'intervention qui lui sont propres. Il ne sera pas fait état ici en tant que tel de l'I.A.F. Production Inc., société commerciale relevant de la Fondation Armand-Frappier, ce propos étant davantage relié à un examen des bio-industries qu'à l'objet du présent rapport.

Publications du personnel, bilan 72-82

Ces divers éléments du dossier, fournis par l'Institut séparément, seront intégrés aux tableaux d'analyse qui suivent, s'il y a lieu.

Fréquentation actuelle et grades obtenus

Outre un personnel de 63 chercheurs, l'I.A.F. accueillait en janvier 83, 40 stagiaires de recherche. On trouvera en Appendice A (à la fin de l'exposé sur l'I.A.F.) une liste stipulant leur nombre, postulant ou non un diplôme, selon leur degré de scolarité.

Possédant actuellement un programme de 2e et 3e cycles en virologie* l'I.A.F. comptait, en janvier 83, 29 étudiants inscrits (8 au PH.D. et 21 à la M. Sc.).

Depuis cinq ans, l'Institut a participé à la diplômation d'un certain nombre de candidats aux études avancées, soit en virologie dans sa propre institution, soit dans une discipline connexe pour des étudiants inscrits dans d'autres institutions. Le tableau 2 relate ces données:

TABLEAU 2

NOMBRE DE DIPLOMES DEPUIS 1977, I.A.F. ET AUTRES

| Virologie, I.A.F. | | Autres universités | |
|---|---|---|---|
| PH.D | 3 | PH.D | 2 |
| M.Sc | 13 | M.Sc | 11 |
| Total | 16 | Total | 13 |
| | 29 | | |

Projet de programme de maîtrise en microbiologie appliquée

L'Institut explique la nécessité d'implantation de ce nouveau programme de maîtrise en microbiologie appliquée - devant être rattaché principalement au Centre de bactériologie - par:

- les impératifs scientifiques et économiques, de plus en plus pressants, de mise sur pied de programmes structurés qui correspondent à la nature pluridisciplinaire et industrielle de champs appelés à se développer en biotechnologies (en microbiologie industrielle particulièrement), et qui sont susceptibles de fournir une main-d'oeuvre qualifiée;

* Le PH.D. en virologie est administré conjointement avec l'Université de Montréal.

- le développement accéléré des recherches du C.R.B. en microbiologie appliquée à la production de médicaments, à l'environnement, à l'agro-alimentaire, au traitement de la biomasse.

En effet, "le virage des activités accrues de microbiologie appliquée effectué au C.R.B. se réflète plus spécifiquement dans les nouveaux projets de recherche entrepris au Centre depuis 1980: développement génétique de souches bactériennes à potentiel de biodégradation accru; biosynthèse des mycotoxines et des acides aminés aromatiques; traitement microbiologique du lisier de porc dans le but d'en diminuer l'odeur et d'en augmenter la valeur fertilisante; écologie des microflores bactériennes en relation avec les pluies acides; bioconversion des résidus agricoles et forestiers en protéines d'organismes unicellulaires; étude des gènes du complexe xylanasique et cellulasique chez les eucaryotes; production d'éthanol par hydrolyse enzymatique de la biomasse agricole et forestière" (Projet de programme de maîtrise ..., p. 11)

Les objectifs de ce programme visent une formation "étendue et pluridisciplinaire" (ibid. p.24), dans le domaine de la microbiologie appliquée, de candidats aptes à occuper des emplois dans les industries alimentaires et pharmaceutiques - "où ils pourront contribuer à la recherche et au développement, à la fabrication et au contrôle de la qualité" (ibid., p.25)-, dans des firmes-conseil concernées par la conservation et la dépollution de l'environnement, dans des laboratoires gouvernementaux et enfin, dans des établissements d'enseignement collégial.

Le contenu projeté est décrit de la façon suivante:

COURS OBLIGATOIRES (12 crédits)

| | |
|---|---|
| MICA 6001 | Microbiologie industrielle avancée - leçons |
| MICA 6002 | Microbiologie industrielle - travaux pratiques |
| MICA 6003 | Génétique des microbes d'importance industrielle |
| MICA 6004 | Séminaires de recherche en microbiologie appliquée I |
| MICA 6005 | Séminaires de recherche en microbiologie appliquée II |
| MICA 6006 | Lectures dirigées en microbiologie appliquée |

COURS FACULTATIFS (6 crédits parmi les cours suivants)

| | |
|---|---|
| MICA 6007 | Biosynthèse des produits naturels |
| MICA 6008 | Vaccins - leçons et travaux pratiques |
| MICA 6009 | Microbiologie des denrées alimentaires - leçons et travaux pratiques |
| MICA 6010 | Normes de bonne pratique dans les bio-industries |
| MICA 6011 | Initiation à la gestion des bio-industries |
| MICA 6012 | Formation professionnelle et méthodologie de la recherche (par le Centre de recherche en virologie) |
| MICA 6013 | Notions de génie chimique - leçons et travaux pratiques (par l'U.Q.T.R., Centre de recherche en pâtes et papiers) |
| MICA 6014 | Analyse chimique instrumentale III - leçons et travaux pratiques (par l'U.Q.A.M.). |
| MICA 6015 | Génétique des bactéries et des virus (par l'U. de M.) |
| MICA 6016 | Introduction au clonage des gènes - leçons et travaux pratiques (par l'U. de M.) |
| MICA 6017 | Microbiologie des sols (par le Collège McDonald - U. McGill) |

Comme on le constate, certains cours de ce programme seraient dispensés sous la tutelle même de l'I.A.F. tandis que d'autres associeraient les expertises d'autres universités.

En effet, la dispensation de ce programme compterait sur les effectifs scientifiques suivants:

- 17 professeurs en sciences, spécialistes de la bactériologie, biochimie, chimie organique, immunologie, microbiologie générale et industrielle, sciences alimentaires, sciences naturelles et virologie, pour la plupart rattachés au C.R.B. bien que d'autres évoluent au C.R.E.S.A.L.A., à la Production, au contrôle de la qualité ou en virologie;

- 33 scientifiques aptes à assurer l'encadrement des étudiants dont 22 rattachés à l'I.A.F. et 11 à l'I.N.R.S.-Santé, à l'U.Q.A.M., à l'U.Q.T.R., à l'U.Q.A.R., au Collège McDonald, au C.H.U.L., à l'U. de Montréal et de Sherbrooke, tous engagés dans des travaux de recherche en collaboration avec des membres de l'Institut.

Ce programme accueillerait des étudiants formés au premier cycle, soit en microbiologie, en biologie, en biochimie, en chimie, en génie chimique, en agriculture, en médecine et en médecine vétérinaire, soit dans un domaine connexe.

"Le candidat qui ne possède pas toutes les connaissances requises pour la poursuite du programme peut se voir imposer des cours d'appoint ou l'obligation de réussir un programme propédeutique. Cette flexibilité dans l'admission des candidats est justifiée par la nature pluridisciplinaire de la microbiologie appliquée" (Projet de programme..., op. cit. p. 31)."

Commentaires

Une certaine ambiguïté plane à la lecture de la documentation fournie par l'I.A.F., aussi bien qu'à la lecture du tableau 1, sur la définition donnée à la biotechnologie par l'I.A.F. En effet, on remarque que, bien que ces équipes aient été toutes présentées au comité comme travaillant en biotechnologie, une section des activités du Centre de virologie se réalise sous la thématique de "biotechnologie". Il est probable que l'I.A.F. relie à ce thème les activités de recherche qu'il considère relevant strictement de la biotechnologie - dans le sens restreint du terme - soit par l'utilisation ou le développement de techniques associées aux biotechnologies (techniques des hybridomes, culture et fusion cellulaires, génie génetique), soit par le rajeunissement grâce à des techniques nouvelles d'un domaine déjà connu (fabrication d'une nouvelle génération de vaccins sous-unitaires - biomimétisme), soit par l'orientation résolument appliquée de la recherche vers la production d'un bien (trousse diagnostique) ou encore d'un service (préparation d'enzymes pour les manipulations génétiques, par exemple).

Cette observation étant faite, il n'en reste pas moins que le substrat principal des recherches présentées, comme le dit l'Institut lui-même, est la cellule vivante et qu'à ce titre ses activités peuvent toutes s'inscrire dans une définition plus large de la biotechnologie.

Un deuxième commentaire rejoint celui que le comité a déjà fait à quelques reprises quant à une fragmentation - apparaissant excessive - des activités de recherche. Que cette fragmentation soit davantage tributaire d'un style de présentation que de la réalité vécue est un facteur que le comité garde en mémoire; mais qu'elle apparaisse si fréquemment dans l'analyse en cours ne cesse toutefois de préoccuper le comité: la consolidation des équipes sur le plan des orientations, des expertises et des budgets apparaît un facteur indispensable de développement qualitatif et quantitatif réel d'un secteur de la recherche scientifique orientée. Quoi qu'il en soit, le chapitre qui suit tentera précisément de dégager un portrait soulignant, en effet, les disparités ou les convergences d'orientations, s'il en est.

Enfin, s'ajoute à la vocation d'institut de recherche une orientation résolue vers le développement d'un programme de formation spécifique, s'inscrivant dans les nécessités actuelles de développement de main-d'oeuvre spécialisée et saisissant l'opportunité du contexte pluridisciplinaire de l'Institut et de la dimension "réseau" de l'U. du Q..

## 6.2 PORTRAIT DES TENDANCES

Comme on l'a fait dans les analyses précédentes, la mise en relation d'un certain nombre de données descriptives fournies par l'institution permet de dégager un portrait des tendances prises par l'ensemble des activités dites biotechnologiques. Si ce portrait n'oblitère pas la nécessité de regarder de près la pertinence des projets (cf. point 3 de la présente analyse), il permet du moins de cerner le plus objectivement possible - avec les limites inhérentes aux démarches à caractère quantitatif - les visées de recherche et les techniques, si ce n'est leur financement.

### Les domaines de recherche en biotechnologie

En un premier aperçu (tableau 3), on observera la répartition des unités de recherche et du nombre de chercheurs impliqués selon les centres et selon les activités - ce dernier élément présentant plus d'intérêt que le premier.

TABLEAU 3

REPARTITION DES UNITES DE RECHERCHE ET DU NOMBRE DE CHERCHEURS SELON LES CENTRES ET LES ACTIVITES

| Centres de recherche | Activités | No. unités | % | Regroupement | No. Cherc. | % | Regroupement |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bactériologie | Vaccins ... | 2 | 6,7 | 16,7 | 7 | 10,4 | 23,8 |
| | Biogradation ... | 3 | 10,0 | | 9 | 13,4 | |
| Virologie | Viro. moléc. | 10 | 33,3 | | 17 | 25,4 | |
| | Ecovirologie | 7 | 23,4 | 80,0 | 16 | 23,9 | 70,2 |
| | Biotechnologie | 6 | 20,0 | | 13 | 19,4 | |
| | Support rech. | 1 | 3,3 | | 1 | 1,5 | |
| C.R.E.S.A.L.A. | Bioalimentaire | 1 | 3,3 | 3,3 | 4 | 6,0 | 6,0 |
| 3 centres | | 30 | 100% | 100% | 67 | 100% | 100% |

En effet, on observe que c'est en virologie que les activités sont le plus intense (80 et 70,2% des activités) et particulièrement en virologie moléculaire (33,3 et 25,4%), en écovirologie (23,4 et 20,9%) et en "biotechnologie"* (20 et 19,4%). Cette assertion ne présume en rien de la pertinence "biotechnologique" ou non des activités ni de leur aspect novateur, mais tente de cerner où est la plus grande concentration d'activités de recherche que l'institution présente comme biotechnologiques dans le cadre de cette enquête**.

Les filières d'applications en biotechnologie

Les mentions de filières d'application visées par les projets de recherche se répartissent de telle sorte qu'il est aisé de dire - ou de confirmer - que celle qui est davantage visée est la santé (ou la santé humaine et animale 75%). On observe toutefois des préoccupations élargies à l'agriculture, à l'agro-alimentaire, à l'énergie et environnement - mais de façon plus marginale, comme en fait foi le tableau 4.

TABLEAU 4

| REPARTITION DES FILIERES D'APPLICATIONS VISEES PAR LES PROJETS | | | |
|---|---|---|---|
| Filières d'applications | No. de mentions | % répartition | % regroupement |
| Santé (humaine) | 21 | 65,6 | 75,0 |
| Santé (animale) | 3 | 9,4 | |
| Agriculture (foresterie) | 3 | 6,3 | 9,4 |
| Agriculture | 1 | 3,1 | |
| Agro-alimentaire | 3 | 9,4 | 9,4 |
| Energie | 1 | 3,1 | 6,2 |
| Environnement | 1 | 3,1 | |
| | 32 | 100% | 100% |

* : Se référer aux "commentaires" du point 6.1.

** : Cette affirmation pourrait être atténuée par le fait que le comité ne disposait pas, au moment de son analyse, de données exhaustives concernant les activités des centres d'immunologie et de médecine vétérinaire. Toutefois, selon le témoignage de l'I.A.F. lui-même, ce portrait n'aurait guère été différent. Cette remarque doit être prise en compte pour l'ensemble des considérations sur le "portait des tendances".

Même si ces pourcentages ne peuvent être pris en compte qu'à titre indicatif, il n'en reste pas moins qu'ils confirment la vocation prioritaire que l'Institut s'est lui-même donnée.

Les techniques utilisées et/ou développées

La mise en évidence des techniques afférentes aux biotechnologies (ou considérées comme telles par l'établissement) permet d'observer si des techniques de pointe y sont utilisées ou développées d'une part, et dans quelle mesure cet Institut est susceptible, si nécessaire, de contribuer à la formation d'étudiants et de chercheurs sur ces plans.

Le tableau de la page suivante (tableau 5) résume la répartition d'ensemble des mentions de techniques, outils de recherche, reliées aux projets, le décompte par centre ne donnant pas de résultats plus significatifs que la synthèse. On trouvera toutefois ces tableaux par centres en Appendice B.

On observe donc que, dans au moins trois domaines privilégiés de recherche dont le plus important est la santé humaine, les techniques qui y sont principalement développées sont en ordre d'importance:

- culture cellulaire
- techniques de biologie moléculaire
- techniques immunologiques
- techniques enzymologiques (enzymologie)
- fusion cellulaire

et d'autres, de façon plus marginale:

- génie génétique
- techniques biochimiques
- techniques de biologie cellulaire
- culture des insectes
- techniques immuno-chimiques

## TABLEAU 5

## TABLEAU-SYNTHESE

LES TECHNIQUES UTILISEES ET/OU DEVELOPPEES SELON LES FILIERES D'APPLICATION

| Techniques \ Filières | Santé hum. | % | Santé anim. | % | Agro-alim. | % | Agric. (forest.) | % | Energie | % | Agric. | % | Environ. | % | Total | % | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cult. cellul. | 19 | | 3 | | 2 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 28 | 29,8 | |
| Tech. biol. moléc. | 11 | | 1 | | 1 | | 2 | | 0 | | 1 | | 1 | | 17 | 18,0 | |
| Tech. immunol. | 11 | | 2 | | 0 | | 2 | | 0 | | 0 | | 0 | | 15 | 16,0 | |
| Tech. enzymol. | 4 | | 0 | | 2 | | 1 | | 1 | | 0 | | 1 | | 9 | 9,6 | |
| Fusion cellul. | 3 | | 0 | | 1 | | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 5 | 5,3 | 78,7 |
| Génie génétique | 1 | | 0 | | 1 | | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 3 | 3,2 | |
| Tech. biochim. | 3 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 3 | 3,2 | |
| Tech. biol. cellul. | 2 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 2 | 2,1 | |
| Culture insectes | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | | 0 | | 2 | 2,0 | |
| Tech. imm.-chim. | 2 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 2 | 2,0 | |
| Tech. microb. chim. | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,1 | |
| Tech. chimiques | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,1 | |
| Tech. histo-path. | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,1 | |
| Fusion protop. | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,1 | |
| Synthèse organ. | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,1 | |
| Proc. filtration | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,1 | |
| Microsc. électron. | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,1 | |
| Aquaculture | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,1 | |
| Total | 63 | | 8 | | 7 | | 6 | | 4 | | 3 | | 3 | | 94 | | |
| % | | 67,0 | | 8,6 | | 7,4 | | 6,4 | | 4,2 | | 3,2 | | 3,2 | | 100% | |
| | | | | | | → 83,8 | | | | | | | | | | | |

On remarquera aussi que les cinq techniques les plus développées en santé sont aussi les instruments d'approche des chercheurs visant les autres filières secondairement développées à l'I.A.F., à savoir: l'alimentaire, la foresterie, l'énergie, l'agriculture, l'environnement. Malgré le peu d'emphase qu'il sied de mettre sur le développement en soi de techniques de pointe - puisque ces techniques ont une fonction instrumentale et sont appelées à se modifier ou à être remplacées par d'autres plus à la fine pointe de l'innovation - il n'en reste pas moins que ce développement permet non seulement de pousser des recherches avec le perfectionnement de nouveaux instruments - c'est là aussi une des fonctions importantes de la recherche - mais aussi de transférer ces savoirs à de nouveaux objets non traditionnellement concernés, comme c'est le cas observé ici.

Les réalisations/produits envisagés

L'inventaire des mentions de réalisations/produits envisagés par les chercheurs nous permet de voir où sont polarisés les objectifs d'application des recherches en cours. Le tableau 6 retrace cet inventaire mis en relation avec les filières d'applications déjà indentifiées au tableau précédent (Tableau 5) et reprises ici pour mémoire. Il est ainsi plus facile de cerner la multiplicité et l'importance des produits envisagés avec les pourcentages de leur fréquence d'apparition dans les réponses aux questions d'enquête. Leur distribution par centre de recherche n'a pas donné lieu à une démarche concluante.

La concentration des objectifs de recherche reliés à la santé humaine (et animale) y est passablement évidente. La production de vaccins, de produits biologiques autres que des vaccins et de produits diagnostiques - tous reliés au domaine de la santé - cumulent ici plus de 60% des mentions de produits envisagés. Pour ce qui est des visées de réalisations appelées "recherches fondamentales" et/ou mise au point d'outils servant au diagnostic ou à l'analyse ("outils analytiques") si elles sont, elles aussi, reliées au domaine de la santé, ne s'inscrivent pas moins dans un type de recherche orientée vers les applications possibles, type qui caractérise la recherche à l'I.A.F..

TABLEAU 6

REALISATIONS/PRODUITS ENVISAGES EN RELATION AVEC LES FILIERES D'APPLICATIONS (POUR TOUS LES PROJETS)

| Réalisations/ produits | No. de mentions | % | Regroupements % | Filières d'applications | % |
|---|---|---|---|---|---|
| - Vaccins | 12 | 25,6 | | | |
| - Produits diagnost. | 12 | 25,6 | | Santé humaine | (67,0) |
| - Outils analytiques | 7 | 14,9 | 83,1 | | |
| - Produits biologiques | 5 | 10,6 | | Santé animale | ( 8,6) |
| - Etudes fondamentales | 3 | 6,4 | | | |
| - Biopesticides | 3 | 6,4 | | Agro-aliment. | ( 7,4) |
| - Biodégradation ... | 1 | 2,1 | | Agric.(forest) | ( 6,4) |
| - Amélior. environn. | 1 | 2,1 | | Energie | ( 4,2) |
| - Ethanol | 1 | 2,1 | 16,9 | Agriculture | ( 3,2) |
| - Aliment. animale | 1 | 2,1 | | Environn. | ( 3,2) |
| - Aliments et/ou procédés | 1 | 2,1 | | | |
| Total | 47 | 100% | 100% | | |

Malgré leur ambiguïté, ces désignations ne renvoient pas à ce qu'on a appelé ailleurs "Recherche fondamentale", c'est-à-dire sans application prévisible; elles signifient que, en même temps qu'ils font des recherches appliquées de plus court terme, certains chercheurs développent de nouveaux instruments de travail dont les bénéfices pourront se faire sentir à plus long terme. En bref, de la réalisation de vaccins à l'élaboration de nouveaux outils en génie génétique, par exemple, 83% des produits de recherches sont consacrés à la santé à l'Institut Armand-Frappier.

Un rapide retour au tableau 4 force l'établissement d'une adéquation très nette entre filières (75,6%) et produits (83,1%) axés sur la santé.

Les autres produits envisagés dont l'I.A.F. tente d'accélérer le développement - destruction des insectes nuisibles (biopesticides), biodégradation de substances nocives, récupération de résidus transformables en protéines pour animaux ou en combustibles - visent grosso modo l'amélioration de l'environnement et - peu s'en faut - l'amélioration de la santé humaine. La mise au point ou la recherche de nouveaux procédés en alimentation humaine (les fromages, par exemple) restent la spécifité du C.R.E.S.A.L.A..

Les subventions de recherche

Comme ailleurs, il sera fait état ici des fonds alloués aux équipes de chercheurs par les principaux organismes subventionnaires en tant qu'indice de premier ordre sur la caution obtenue des pairs par ces chercheurs et/ou ces équipes. Le tableau 7 retrace la répartition de ces subventions par centre, par groupe d'activité et par équipe. L'absence de données dans certains cas signifie que ces projets sont financés à même le budget de fonctionnement de l'Institut, budget dont nulle part ailleurs il n'a été fait état.

On se souviendra par ailleurs que la répétition des mêmes noms de chercheurs double pratiquement les effectifs de recherche (67 chercheurs affectés, 34 personnes): les moyennes de subventions par personne (encadrée) nous apparaissent donc en l'occurence les données les plus "parlantes" de ce tableau. On y observera en outre l'absence du C.R.E.S.A.L.A.: le transfert récent (1982) de ce centre à l'I.A.F. a rendu difficile l'obtention de données, d'une part, et le fait que ce centre s'autofinance à partir de contrats, de commandites et de subventions rend cette démarche moins pertinente ici, d'autre part.

## TABLEAU 7

REPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 1981-82, PAR EQUIPE ET PAR CENTRE, EN $

| Centres | Sous-programmes | Chercheur principal | No. total cherch. | CRM | CRSNG | FCAC | FRSQ | CRSAQ | IAF | UQ | MIN. Québec ** | MIN. Canada *** | Autres | TOTAL | Moyenne/ cherch. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BACTERIOLOGIE | Vaccins | Portelance | 5 | 34,250 | | 13,400 | 17,800 | | 176,263* | | | | | 241,713 | 48,343 |
| | " | Ishaque | 2 | 26,000 | | | | | | | | | 126,063[1] | 152,063 | 76,032 |
| | Sous-total | | 7 | 60,250 | | 13,400 | 17,800 | | 176,263 | | | | 126,063 | 393,776 | 56,253 |
| | Biodégradation | Chahal | 4 | | 49,078* | | | | 83,709* | | 45,415 | | | 178,202 | 44,550 |
| | " | Beaudet | 4 | | | | | | 50,831* | | | | | 50,831 | 12,707 |
| | " | Zamir | 1 | | | | 5,000 | | 271,352* | | | | | 276,352 | 276,352 |
| | Sous-total | | 9 | | 49,078 | | 5,000 | | 405,892 | | 45,415 | | | 505,385 | 56,154 |
| Sous-total C.R.B. | | Chercheurs | 16 | 60,250 | 49,078 | 13,400 | 22,600 | | 582,155 | | 45,415 | | 126,063 | 899,161 | 89,916 |
| | | Personnes | 10 | | | | | | | | | | | | |
| VIROLOGIE | Virologie moléculaire | Trudel | 3 | | | (160,000)[2] | | | 10,220* | | | | | 10,220 | 3,406 |
| | " | Hamelin | 1 | | 12,226* | 37,600* | | 36,988 | | 35,000 | | | | (160,000) | |
| | " | Arora | 1 | | | | | | | | | | | 121,814 | 121,814 |
| | " | Thibodeau | 3 | | 56,508* | | 12,946 | | 212,020* | 9,980* | | 64,252* | | 64,252 | 64,252 |
| | " | Descoteaux | 2 | 35,524 | | | 8,900 | | 93,523[3] | | | | | 291,454 | 97,151 |
| | " | Belloncik | 2 | | | | | | 10,300* | | | | | 137,947 | 68,973 |
| | " | Belloncik | 1 | | | | | | | | | | | 10,300 | 5,150 |
| | " | Belloncik | 1 | | | | | | (cf. 4) | | | 20,000 | | 20,000 | 20,000 |
| | " | Hamelin | 1 | | | | | | (cf. 5) | | | | | - | - |
| | " | Berthiaume | 2 | | | | | | (cf. 4) | | | | | - | - |
| | Sous-total | | 17 | 35,524 | 68,734 | 197,600 | 21,846 | 36,988 | 326,063 | 44,980 | | 84,252 | | 815,987 | 47,999 |

*: équipements inclus dans ce montant.
**: MIN. Québec: les ministères du Gouv. du Québec, ici particulièrement M.E.Q., M.A.S., M. ENV.Q.
***: MIN. Canada: le ministère de la Santé et du Bien-être social et M.E.I.C., M.A.C.
1: Fame Pereo, Société des lépreux et Ordre de St-Lazare.
2: Pour tout le centre. Inclus dans le sous-total et la moyenne pour le centre.
3: Dont 18,000$ du Fonds Armand-Frappier.

TABLEAU 7 (suite)

REPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 1981-82, PAR EQUIPE ET PAR CENTRE, EN $

| Centres | Sous-programmes | Chercheur principal | No. total cherch. | CRM | CRSNG | FCAC | FRSQ | CRSAQ | IAF | UQ | MIN. Québec ** | MIN. Canada *** | Autres | TOTAL | Moyenne/ cherch. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VIROLOGIE | Ecovirologie | Belloncik | 2 | | 28,068 | 26,800 | | 21,000 | | | | 14,500 | | 90,368 | 45,184 |
| | " | Belloncik | 1 | | | | | | 9,778* | | | | | 9,778 | 9,778 |
| | " | Hamelin | 7 | | | | | | (cf.[6]) | | | | | - | - |
| | " | Payment | 2 | 2,288 | 19,000 | 17,600 | | | | | 85,000 | 57,682 | | 181,570 | 90,785 |
| | " | Descôteaux | 1 | | | | | | (cf.[4]) | | | | | - | - |
| | " | Berthiaume | 1 | | | | | | | 1,050 | | | | 4,450 | 4,450 |
| | " | Berthiaume | 2 | | | | | | (cf.[4]) | | | | 3,400 | - | - |
| | Sous-total | | 16 | 2,288 | 47,068 | 44,400 | | 21,000 | 9,778 | 1,050 | 85,000 | 72,182 | 3,400 | 286,166 | 17,885 |
| | Biotechnologie | Lecomte | 5 | | | | | | | | | | | | |
| | " | Lecomte | 3 | | | | 8,900 | | | | 120,000[7] | | | 120,000 | 24,000 |
| | " | Hamelin | 1 | | | | | | | | | 71,872 | | 80,772 | 26,924 |
| | " | Thibodeau | 2 | | | | | | (cf.[6]) | | | | | - | - |
| | " | Boudreault | 1 | | | | | | 19,300* | | | | | 19,300 | 9,650 |
| | " | Arora | 1 | | | | | | 14,285* | | | 9,653 | 55,000[8] | 78,938 | 78,938 |
| | | | | | | | | | (cf.[4]) | | | | | - | - |
| | Sous-total | | 13 | | | | 8,900 | | 33,585 | | 120,000 | 81,525 | 55,000 | 299,010 | 23,000 |
| | Support rech. | Lecomte | 1 | | 75,000 | | | | 127,747* | | | 15,080 | | 217,827 | 217,828 |
| Sous-total C.R.V. | | Chercheurs | 47 | 37,812 | 190,802 | 242,000 | 30,746 | 57,988 | 497,173 | 46,030 | 205,000 | 253,039 | 58,400 | 2618,990 | 34,466 |
| | | Personnes | 20 | | | | | | | | | | | | 80,950 |
| GRAND TOTAL | | Chercheurs | 63 | 98,062 | 239,880 | 255,400 | 53,546 | 57,988 | 1079,328 | 46,030 | 250,415 | 253,039 | 184,463 | 2518,151 | 39,970 |
| | | Personnes | 30 | | | | | | | | | | | | 83,938 |

4: Sur le budget de fonctionnement interne.
5: Sur un budget de collaboration avec l'Institut-Pasteur.
6: Supporté par IAF Productions Inc., dans le cadre d'un contrat avec Johnson & Johnson.
7: Budget 1981-82 du versement du MEQ (action structurante).
8: Subvention du Conseil national de la recherche, cadre du programme PARI, transfert technologique.
**: MIN. Québec: les ministères du Gouv. du Québec, ici particulièrement M.E.Q., M.A.S., M. Env. Q..
***: MIN. Canada: le ministère de la Santé et du Bien-être social et M.E.I.C., M.A.C.

La lecture du tableau 7 contredit - du moins en ce qui a trait aux fonds investis - les constats du tableau 3 considérant comme davantage intenses les activités en virologie moléculaire, en écovirologie et en biotechnologie. En effet, sur le plan de la "mise de fonds", c'est relativement en bactériologie (vaccins et biodégradation) - 56K par chercheur, 89K par personne - que les subventions sont les plus élevées, puis en virologie moléculaire - 48K par chercheur, 80K par personne - et enfin, à l'unité des hybridomes (support à la recherche) où un effort d'investissement particulier a été fait en 1981-82 (217K dont plus de 100K par l'I.A.F. lui-même).

Bref, plus de deux millions et demi de dollars sont investis dans les recherches en biotechnologies à l'Institut et la moyenne générale de subventions par personne (84K) rejoint grosso modo le niveau de subvention observé dans le secteur médical des autres universités; notons cependant que 44% des fonds proviennent de l'Institut lui-même et non des organismes subventionnaires externes.

Commentaires

En somme, en dépit d'une impression première de fragmentation, une convergence d'objectifs assez nette se dégage de cet examen. En effet, la vocation majeure de cet Institut (la santé) reste présente partout, l'essentiel des ressources humaines est concentré en virologie où des regroupements sous des thématiques différentes ne signifient pas pour l'instant la dispersion mais pourraient signifier des nuances dans des préoccupations similaires; la culture et la fusion cellulaires, l'enzymologie, la biologie moléculaire et, bien entendu, les techniques immunologiques y sont majoritairement pratiquées; il y a en plus une importante unité - de par les fonds investis - de technologie des hybridomes. Malgré la marginalité - en termes de pourcentage - des intérêts de recherche autres que visant la santé strictement parlant, soit en alimentaire, agriculture, énergie etc. et malgré le prédicat de consolidation qui a présidé à cet examen, bref, malgré l'intérêt biotechnologique de telles préoccupations et à la fois le danger de

dispersion qu'il présente, le comité croit que, pour l'instant, ces préoccupations n'entament pas la solidité des ressources et des expertises nécessaires au développement efficace d'une vocation qui confère à cet Institut un statut unique et une réputation structurée de longue date.

Néanmoins, si une importante proportion des ressources humaines est concentrée en virologie, il est à noter que c'est en bactériologie que les fonds de recherche sont les plus importants, centre où se mènent des recherches en vaccins anti-bactériens mais qui s'est aussi orienté récemment vers des activités de biodégradation et biotransformation, très populaires en biotechnologie actuellement. *

Il serait utile d'ajouter que l'examen des liens inter-centres ne s'est pas avéré utile, compte tenu du fait que la division par centres apparaît au comité plus "administrative" que fonctionnelle et que les expertises d'autres centres sont adjointes aux équipes si nécessaire. Toutefois, un examen plus approfondi des collaborations internes dont la charge incombe davantage à l'institution qu'au comité, pourrait permettre cette consolidation des expertises et des objectifs de recherche, dans des unités dont la masse critique est plus imposante, consolidation que le comité croit nécessaire à tout effort de développement concerté.

---

* Le C.R.B. est l'unité où l'on retrouve précisément les deux chimistes et l'ingénieur biochimiste de l'Institut - en autant que la vérification s'est avérée possible.

## 6.3 ANALYSE DU POTENTIEL DE RECHERCHE ET DE FORMATION AUX ETUDES AVANCEES

Un examen de productivité des équipes de recherche en regard du développement des biotechnologies a précédé les commentaires que l'on retrouvera sous cette rubrique. En effet, le comité a gardé en mémoire lors de cette analyse du potentiel de formation et de recherche en biotechnologies, un certain nombre d'indices de productivité, à savoir: les subventions de recherche des équipes, alliées au nombre de leurs publications en cinq ans, au nombre d'étudiants inscrits en 1982 et, s'il y a lieu, à celui des diplômés depuis cinq ans et ce, en regard de la pertinence biotechnologique des projets. Ces considérations de masse critique et de pertinence ont été enrichies, au besoin, de l'incidence sur le développement des projets des collaborations entretenues avec l'industrie ou avec des institutions extra-muros.

Le tableau 8 relate les données factuelles dont nous disposions pour procéder à cet examen. Les titres des projets de recherche, donnée essentielle à notre analyse dont voici le résultat sommaire, seront cités au fur et à mesure des commentaires.

Centre de bactériologie

Vaccins et substances anti-bactériennes (2 unités/6 chercheurs)

1. "Substances antigonocciques produites par des représentants de la microflore urogénitale: production; caractérisation chimique et biologique; mécanisme d'action; production en fermenteurs".

2. "Recherche et développement en vue de la mise au point d'un vaccin méningitique protéique polyvalent: production en fermenteurs, évaluation de l'activité, essais cliniques".

3. "Lèpre expérimentale: rôle des cellules suppressives: culture *in vitro* de *Mycobacterium lepraemurium* et de *M. leprae*. Développement d'un vaccin anti-lépreux par la technique de fusion des protoplastes".

## TABLEAU 8

PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATIONS ET COLLABORATIONS

| Centres | Sous-programmes | Chercheur principal | No. total cherch. | Subventions $ | Public 5 ans ** | Moy. public 1 an | Etudiants inscrits centre IRD./Post-D. | Ph.D | M.Sc. | Etudiants diplômés IAF Ph.D./M.Sc. | Autres Ph.D./M.Sc. | Collaborateurs extra-muros | Liens avec l'industrie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bactériologie | Vaccins | Portelance | 5 | 241,713 | 36/4 | 1,8 | | 6 | 6 | NP. | | Inst. Pasteur Prod. | - |
| | " | Ishaque | 2 | 152,063 | 14/2 | 1,4 | | | | NP. | | - | - |
| | Biodégradation | Chahal | 4 | 178,202 | 32/4 | 1,6 | | | | NP. | | U. de M., U.McGill | - |
| | " | Beaudet | 4 | 50,831 | 36/4 | 1,8 | 6 | | | NP. | | UQAC, Inst. agric. | - |
| | " | Zamir | 1 | 276,352 | 9/1 | 1,8 (M:1,7) | | | | NP. | | St-Hya., CNRC | - |
| Virologie | Virologie moléc. | Trudel | 3 | 10,220 | 49/3 | 3,3 | 4 | | | | | | - |
| | " " | Hamelin | 1 | 121,814 | 7/1 | 1,4 | 2 | | | | | Institut Pasteur | - |
| | " " | Arora | 1 | 64,252 | 4/1 | 0,8 | 1 | | | | | Un. Liège | - |
| | " " | Thibodeau | 3 | 291,454 | 11/2 | 1,1 | - | | | | | Un. Montpellier | - |
| | " " | Descôteaux | 2 | 137,947 | 30/2 | 3,0 | 1 | 1 | 8 21[1] | 3 13 | 2 11 | Un. Oregon | - |
| | " " | Belloncik | 2 | 10,300 | 16/2 | 1,6 | 1 | | | | | Un. Tokyo | - |
| | " " | Belloncik | 1 | 20,000 | 9/1 | 1,8 | 2 | | | | | | - |
| | " " | Belloncik | 1 | - | 9/1 | 1,8 | 1 | | | | | | - |
| | " " | Hamelin | 1 | - | 7/1 | 1,4 | 1 | | | | | | - |
| | " " | Berthiaume | 2 | - (160,000) | 17/2 | 1,7 (M:1,8) | 1 | | | | | | - |
| | Ecovirologie | Belloncik | 2 | 90,368 | 16/2 | 1,6 | 1 | | | | | (Labo. contrôle * maladies (Can.) Labo. contrôle arbovirus (USA)) | - |
| | " | Belloncik | 1 | 9,778 | 9/1 | 1,9 | 3 | | | | | (Agri-Can.) | - |
| | " | Hamelin | 7 | - | 40/5 | 1,6 | - | | | | | (MAPAQ) | IAFP/Johns&Johns |
| | " | Payment | 2 | 181,570 | 48/2 | 4,8 | 5 | | | | | (Labo. contrôle Can., Env.Q., Usines filtration) | - |
| | " | Descôteaux | 1 | - | 11/1 | 2,2 | - | | | | | - | - |
| | " | Berthiaume | 1 | 4,450 | 10/1 | 2,0 | - | | | | | (U. Sherbrooke) | - |
| | " | Berthiaume | 2 | - | 15/2 | 1,5 (M:2,2) | 1 | | | | | (U. Sherbrooke) | - |

1: Plus 23 stagiaires, du niveau collégial au post-doctoral.
*: Les parenthèses relatent ce qui est particulier aux équipes en plus des contacts du centre, pris globalement.
**: Nombre de publications par rapport au nombre de chercheurs concernés par ces publications.

TABLEAU 8 (suite)

PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATIONS ET COLLABORATIONS

| Centres | Sous-programmes | Chercheur principal | No. total cherch. | Subventions $ | Public 5 ans ** | Moy. public 1 an | Etudiants inscrits centre Diplôm./Post-D. | Etudiants diplômés IAF Ph.D./M.Sc. | Etudiants diplômés Autres Ph.D./M.Sc. | Collaborateurs extra-muros | Liens avec l'industrie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Virologie (suite) | Biotechnologie | Lecomte | 5 | 170,000 | 74/5 | 3,0 | 4 | | | | - |
| | " | Lecomte | 3 | 80,772 | 17/2 | 1,7 | - | | | | IAFP + GIBCO (USA) |
| | " | Hamelin | 1 | - | 7/1 | 1,4 | 2 | | | | IAFP |
| | " | Thibodeau | 2 | 19,300 | 11/2 | 1,1 | - | | | (Un. Liège, Inst. Pasteur) | - |
| | " | Boudreault | 1 | 78,938 | 7/1 | 1,4 | 1 | | | | IAFP |
| | " | Arora | 1 | - | 4/1 | 0,8 (M:1,6) | - | | | (LCDC (Can.)) | - |
| | Supp. recherche | Lecomte | 1 | 217,827 | 10/1 | 2,0 (M:2) | - | | | | IAFP; JohnsonAJ.; GIBCO (USA) |
| CRESALA | - | Gagnon | 4 | N.D. | N.D. | - | | 2 | | UQAP; UQAC; PNRI; Un. Miami, Un. Vermont (USA); Meudon, Paris VI; Labo. Angers; INA; ISTPM (France); Un. Reading (UK); Inst. Dakar; CDT Abidjan; AGRI-CAS. | |

** nombre de publications par rapport au nombre de chercheurs concernés par ces publications.

Ces trois sujets de recherche utilisent substantiellement des techniques reconnues dans la praxis en biotechnologie (culture cellulaire, fermentation et fusion des protoplastes). L'orientation vers des applications immédiates (produits biologiques et vaccin) - si elle est un facteur insuffisant pour reconnaître à tous les projets une pertinence biotechnologique - confirme ici ces projets dans leur filiation à de la biotechnologie, prise au sens strict du terme, bien qu'ils n'en soient pas à une même phase de réalisation.

Biodégradation et biotransformation (3 unités/9 chercheurs)

1. "Biodégradation de la cellulose et de l'hémicellulose: développement de souches à potentiel de biodégradation accru; étude des systèmes enzymatiques; étude des gènes du complexe xynalasique".

2. "Biotransformation des résidus végétaux: production de protéines d'origine unicellulaire et d'éthanol".

3. "Biodégradation des biphényls polychlorés: développement de souches à potentiel de biodégradation accru; identification et étude de la mutagénicité et de la toxicité des métabolites bactériens " (avec R. Massé, INRS-santé).

4. "Traitement microbiologique du purin de porc".

5. "Biosynthèse des aflatoxines et des acides aminés aromatiques: identification des métabolites intermédiaires; établissement des voies de la biosynthèse".

Les deux premiers projets, orientés vers l'alimentaire et l'énergie (sous-programme biomasse) s'inscrivent dans une filière très biotechnologique dont la popularité ne cesse de prendre de l'ampleur, tout comme d'ailleurs le quatrième projet visant à améliorer l'environnement, à contrôler et à utiliser les déchets animaux et chimiques. Ils sont menés par une équipe composite dont on trouvera d'autres exemples d'une

telle polyvalence dans l'examen des projets de cette institution; en effet, cette unité réunit les collaborations d'un ingénieur biochimiste, d'un biochimiste-microbiologiste, d'un microbiologiste industriel et d'un généticien microbien.

Le troisième projet dont la pertinence biotechnologique n'est pas à démontrer donne l'exemple d'une collaboration extra-muros effective puisqu'il est mené par des microbiologistes en collaboration avec un chercheur de l'I.N.R.S.-santé. L'objectif de réalisation est l'obtention d'agents microbiens renforcés par fusion cellulaire.

Le cinquième et dernier projet, projet d'envergure en biologie moléculaire sans conteste, est exploité par une chimiste organicienne d'expérience, tel qu'on en trouve dans l'industrie pharmaceutique; pour l'organisation de son laboratoire, un important investissement a été fait en 1981-82 par l'I.A.F. (près de 200K).

Conclusion

Dans l'ensemble de la bactériologie, il s'agit de recherches sérieuses, menées par des chercheurs séniors majoritairement regroupés en équipes de deux à cinq personnes et travaillant soit sur des objets traditionnels (vaccins, produits biologiques) avec des techniques de pointe afférentes aux biotechnologies (culture cellulaire, fermentations, fusion des protoplastes), soit sur des objets nouveaux (alimentation animale, énergie, environnement, conservation des aliments) ou du moins dans des domaines où de nouvelles brèches ont été pratiquées. L'apport, à temps partagé, d'un chimiste organicien ne peut que compléter et solidifier la démarche de ce centre en biotechnologies, centre dont la moyenne de publication par chercheur (1,7/an) est appréciable. Le centre reçoit, en 1983, 12 étudiants aux études supérieures et six chercheurs post-doctoraux qui effectuent un stage dans le programme de biodégradation et biotransformation. Dans le dernier programme notamment, des perspectives de nouvelles recherches sont envisagées, à partir des projets actuels, i.e. la mise au point de nouveaux procédés d'exploitation et de contrôle des résidus agricoles, forestiers, chimiques et d'animaux. Ce centre n'a pas de diplômés à son actif puisqu'il n'y a pas de programme

"académique" de bactériologie menant comme tel à l'obtention d'un diplôme, mais propose d'être le foyer principal d'un nouveau programme de maîtrise en microbiologie appliquée.

Centre de virologie

Virologie moléculaire (10 unités/11 chercheurs)

1. "L'étude de la structure de l'hémagluttinine du virus de la rubéole et des protéines membranaires du virus respiratoire syncytial".

2. "L'analyse biochimique et génétique du génome du cytomégalovirus humain et l'étude de son pouvoir transformant".

3. "Caractérisation des protéines du virus grippal".

4. "Identification et étude de la structure moléculaire de l'antigène D du virus poliomyélite".

5. "Caractérisation des protéines structurales d'un coronavirus du lapin".

6. "Caractérisation des baculovirus par l'utilisation des endonucléases de restriction".

7. "Recherches fondamentales sur les virus des polyédroses cytoplasmiques".

8. "Séquences et cartographie des oligonucléotides des segments d'ARN des virus du groupe de l'encéphalite de Californie isolés au Canada".

9. "Rôle des topoisomerases eucaryotes dans le métabolisme des acides nucléiques viraux et cellulaires".

10. "Intervention du phage PBG-1 dans le système de restriction et de modification de Bacillus globigii".

Les trois derniers projets (8, 9, 10) sont, à toutes fins utiles, des recherches à caractère plutôt "instrumental" (cf. 6.2), axées sur la santé humaine et menées par de petites équipes (1 à 2 chercheurs totalisant trois chercheurs séniors utilisant la biologie moléculaire, la culture cellulaire, l'enzymologie et les techniques immunologiques comme outils de recherche.

Les projets 6 et 7 concernant la lutte biologique en foresterie sont tout aussi pertinents à la biotechnologie - et de façon stricte - puisqu'une application est envisagée à moyen terme (biopesticides) à partir de la caractérisation des baculovirus ou de la connaissance du comportement biologique des virus d'insectes.

Les cinq premiers projets présentent un intérêt à long terme en connaissances des structures moléculaires du virus et protection de la santé par la recherche de nouveaux vaccins sous-unitaires (dépourvus d'acide nucléique) avec les nouveaux procédés de bio-mimétisme et le développement d'immunosomes.

Commentaires

Ces dix unités de virologie moléculaire mettent à profit les expertises de neuf chercheurs séniors dont le mérite est de mener trois projets de nature "instrumentale" reliés aux biotechnologies, cinq projets de recherche appliquée en nouvelles générations de vaccins sur le plan des techniques d'approche et deux recherches orientées vers des applications en biopesticides: ces chercheurs sont soit biologistes moléculaires, soit biochimistes, soit virologistes.

Ecovirologie (7 unités/13 chercheurs)

1. "Identification des souches et des vecteurs responsables de l'encéphalite de Californie".

2. "Développement de la lutte biologique contre les vers gris nuisibles à l'agriculture".

3. "Identification et analyse de virus à ADN d'importance médicale par la technique des endonucléases de restriction".

4. "Distribution et élimination des virus dans le milieu hydrique".

5. "Pathogénèse des cutérites causées par le coronavirus cunicole".

6. "Influence des conditions physiologiques et environnementales sur la mortalité causée par le virus de la nécrose pancréalitique infectieuse chez la truite mouchetée en pisciculture".

7. "Caractérisation des iridoviridae des poissons."

Les projets 2 et 4 sont considérés par le comité d'intérêt biotechnologique - à proprement parler - à cause du caractère appliqué de ces recherches (applications industrielles prévues à moyen terme), de l'importance environnementale de leurs objectifs de réalisation (biopesticides, virulicides), à cause de leurs techniques d'approche (culture cellulaire, culture des insectes, biologie moléculaire) ou à cause de l'intérêt particulier que présente le quatrième projet en virologie de l'environnement dont l'objet, original et unique, consiste à concentrer les virus dans l'eau pour identifier les virus déclencheurs de maladies et prévoir les agents virulicides; cette recherche, qui pourrait éventuellement porter sur les virus des animaux domestiques, est menée par des chercheurs dont la maturité scientifique n'est plus à démontrer.

La similitude des projets 1 et 3 vaut par leur caractère de recherche de nouveaux outils diagnostiques ou analytiques, leur objectif commun (santé humaine), et leurs possibilités d'applications à moyen terme, bien que le projet 1 relève davantage de la virologie classique et le projet 3, des biotechnologies avec application clairement prévisible sous forme de trousse diagnostique.

Les trois derniers projets de vaccins, centrés sur la santé animale (poissons, cheptel) sont pertinents aux biotechnologies par leur approche technique de culture cellulaire. Le projet 6 est réalisé en collaboration avec l'Université du Québec à Chicoutimi et l'Université de Sherbrooke.

Commentaires

Ces sept unités de recherche en écovirologie regroupent neuf chercheurs (7 personnes) et sept assistants menant deux projets de recherche dans le domaine de l'environnement (biopesticides et virulicides), deux projets de recherche de nouveaux outils diagnostiques et analytiques dans celui de la santé humaine et trois projets de vaccins en santé animale, tous (sauf un) très pertinents aux biotechnologies. Elles font appel à une panoplie d'expertises assez variée d'agronomes, de virologistes, de biologistes (cellulaire et moléculaire), de médecins vétérinaires, de biochimistes, de microbiologistes, et d'un médecin.

Biotechnologie (6 unités/9 chercheurs)

1. "Application de la technique des hybridomes pour l'analyse des antigènes viraux".

2. "Développement d'un kit diagnostique HSV".

3. "Préparation d'enzymes, de substances et de véhicules de clonage pour les manipulations génétiques".

4. "Recherche et développement d'un nouveau vaccin poliomyélitique".

5. "Comparaison des réponses immunologiques de souris immunisées avec les glycoprotéines du virus grippal ancrées sur les liposomes avec celles obtenues par le vaccin atténué, le vaccin entier et les mêmes glycoprotéines sous forme de rosettes".

6. "Approche systématique pour la formulation d'un vaccin grippal efficace".

Les trois premiers projets relèvent de la recherche appliquée en santé humaine, centrée sur la production d'outils de support à la recherche ou diagnostiques. Plus spécifiquement, le premier projet vise à assurer

l'expertise en matière d'hybridomes et d'anticorps monoclonaux, visées que l'on reverra plus loin sous le thème de "support à la recherche". Le deuxième projet envisage le développement d'une trousse diagnostique quand le troisième vise à augmenter l'expertise en enzymes de restriction et en plasmides d'expression. A plus long terme, ces projets pressentent la mise au point d'outils permanents (banque d'hybridomes), l'application transférée aux humains ou la mise au point de modèles d'application à l'industrie.

Les trois derniers projets tendent substantiellement vers la fabrication de vaccins sous-unitaires pour les humains avec le procédé du biomimétisme, donc, mise au point de vaccins à partir de technologies nouvelles.

Commentaires

En somme, cette thématique de "biotechnologie" avancée par l'I.A.F. prendrait plus son sens par les techniques de pointe utilisées (fusion cellulaire, hybridomes, biomimétisme, biologie moléculaire appliquée au génie génétique) que par ses objets de recherche proprement dits - comme la mise au point de vaccins - objets que l'on retrouve souvent ailleurs dans l'ensemble des projets de l'I.A.F.. Il faudrait alors conclure que l'Institut reconnaît ici une équipe davantage apte à poursuivre des recherches de pointe en biotechnologies, sinon ce regroupement serait dénué de sens. Les 13 participants regroupent en réalité neuf chercheurs séniors (et 2 assistants) que l'on retrouve tous ailleurs, dans d'autres unités. L'éventail des expertises ici réunies est aussi impressionnant qu'ailleurs: virologistes, biologistes, microbiologistes, biochimistes, agronomes.

Support à la recherche (Unité des hybridomes) (1 unité/1 chercheur)

La création de cette unité, qui date de 1981, a eu pour objet de développer une infrastructure permettant d'utiliser efficacement la technologie des hybridomes afin d'accélérer le développement des travaux de recherche nécessitant l'utilisation d'anticorps monoclonaux. Il s'agit

donc d'une unité de recherche et de service susceptible de maintenir un noyau d'excellence et d'expertise, capable de générer des projets de recherche, de collaborer avec les chercheurs des différents centres en recherches fondamentales et appliquées, de développer une banque de clones cellulaires secréteurs d'AMC et enfin, de pourvoir à la formation d'étudiants (et de techniciens) en fusion cellulaire. On a vu plus haut quels étaient les projets en cours en fusion cellulaire, où, précisément, est impliqué le chercheur responsable de cette unité. Nous nous contenterons donc ici de souligner la pertinence biotechnologique des fonctions de cette unité et sa position structurelle à l'Institut qui, serait-on porté à croire, permet la mise au service de tous d'une expertise spécifique.

Conclusion

Ce Centre de recherche en virologie, qui regroupe une grande partie des ressources humaines (47 chercheurs, 20 personnes) travaillant en biotechnologies à l'I.A.P., génère 28 projets de recherche sous quatre thèmes différents menés par 14 chercheurs (personnes) séniors, dans 24 équipes différentes qui, sauf dans deux cas, ne comportent pas plus de trois chercheurs.

On y travaille sur des recherches orientées vers la mise au point d'outils de recherche, de biopesticides et virulicides, de nouveaux vaccins sous-unitaires, de trousses diagnostiques, etc. dans les filières de la santé humaine et animale, et de l'environnement. On y trouve là des expertises en biologie moléculaire, en culture cellulaire, en enzymologie mais aussi - ce qui en fait sa spécificité - en fusion cellulaire (hybridomes) et en biomimétisme. L'apport, d'ailleurs, d'une unité spécialisée en hybridomes ne peut que solidifier la démarche scientifique de ce centre dont la moyenne de publications par chercheur (1,9/an) est appréciable.

Ce centre, qui gère aussi un programme d'études avancées en virologie, a 29 diplômés à son actif depuis cinq ans et encadre actuellement 29 étudiants en plus de 23 stagiaires provenant de tous les niveaux de grade. Ses collaborations extra-muros se sont établies avec d'autres universités et laboratoires, avec des organismes publics, des usines de filtration et deux compagnies pharmaceutiques américaines.

C.R.E.S.A.L.A.

Le comité se contentera d'exposer ici les deux projets considérés relevant des biotechnologies:

1. "Adaptation et développement de méthodes qui favorisent une augmentation de la production du fromage de chèvre".

2. "Développement de méthodes de préservation de la viande à l'aide de bactéries lactiques".

Comme nous l'avons précisé plus haut, cette unité s'autofinance à partir des contrats et commandites que ses recherches lui apportent; néanmoins, le développement biotechnologique en microbiologie alimentaire auquel ces projets ont donné ou donneront lieu n'est pas négligeable pour autant. Elle regroupe actuellement deux chercheurs et trois assistants et reçoit en son sein des professeurs invités. Il va de soi que ses contacts avec l'industrie et les organismes publics concernés par ces préoccupations (par exemple: M.A.P.A.Q., M.I.C.O., AGRI-CAN, etc.) sont usuels et fréquents.

Le rôle spécifique de cette unité en sciences appliquées à l'alimentation l'a fait s'intéresser à la mise au point de fromages fins, de yaourt, d'apéritifs à base de cidre, de méthodes de stérilisation de denrées alimentaires, pour ne citer que ces exemples-là.

## 6.4 CONCLUSION

Cet exercice d'analyse mène à différents constats. D'abord, une tension vers des objectifs de santé humaine, et plus marginalement, de santé animale fait converger l'ensemble des projets de recherche, y inclus ceux qui touchent les domaines de l'environnement (biopesticides, virulicides) mais considérant à part le programme de biodégradation et biotransformation visant la production d'éthanol, la dégradation de la cellulose, la désodorisation du purin de porc, la conservation des aliments (aflatoxines) et le programme d'amélioration de méthodes de production et conservation alimentaire (C.R.E.S.A.L.A.).

Ensuite, on observe la mise à profit de plusieurs savoirs disciplinaires conjugués dans des travaux de collaboration, réalisant ainsi une interdisciplinarité souvent difficile à obtenir dans les structures départementales des universités. Le comité souhaite vivement que la division en centres de recherche, que l'on dit plus théorique que fonctionnelle, reste ou devienne un facteur positif d'interdisciplinarité et de mobilité interne. Cette structure souple, s'il en est, semble permettre aussi une distribution de rôles partagée entre recherche "instrumentale" orientée (recherche de nouveaux outils diagnostiques ou analytiques - "aids"), recherche appliquée, centrée davantage vers la fabrication d'un produit (vaccins, kits, etc.) industrialisable et recherche à plus long terme dans des voies qui semblent prometteuses - ce que le comité croit nécessaire pour couvrir l'ensemble d'une filière comme la santé.

Le troisième commentaire concerne l'intérêt biotechnologique des projets présentés au comité. Si ce n'est par la filière visée majoritairement - la santé - ou par le type de produits - produits biologiques -, cet Institut se distingue par le développement accentué des techniques de culture cellulaire, de fusion cellulaire (hybridomes), de biomimétisme (qui amène, dans ce dernier cas, la production d'une nouvelle classe de vaccins sans acide nucléique) et de techniques de biologie moléculaire et cellulaire.

Une autre caractéristique de cet Institut - et qui en a fait sa raison d'être - est l'expertise développée en virologie (structure moléculaire des virus) - on y trouve une concentration de virologues comme nulle part au Québec - et l'expertise développée en bactériologie, bien qu'ici moins exclusive. A cela s'ajoute une caractéristique de recherche orientée vers des applications.

A ce tableau d'ensemble de la situation actuelle, il faut ajouter le projet de création du programme de microbiologie appliquée. Les assises de ce programme, aussi bien en termes de ressources humaines que matérielles et ce, autant à l'Institut lui-même qu'aux institutions où des collaborations sont prévues, nous semblent adéquates. L'intégration du programme projeté dans l'ensemble des activités de l'Institut apparaît au comité non seulement faisable mais prometteuse; il est évident que la présence de l'I.A.F.-Production Inc. est un atout à cet égard.

Cependant, pour qu'un tel programme puisse atteindre entièrement les objectifs qui lui ont été fixés, il faudrait, selon le comité, que les cours d'appoint - ou le programme de propédeutique - qui pourraient (ou devraient) être imposés aux étudiants pour compléter leur formation antérieure soient mieux circonscrits, mieux explicités dans le projet et dans la planification effective qui lui a donné naissance, puisqu'ils constituent l'articulation même du programme de maîtrise projeté avec les programmes de premier cycle existant dans les autres universités. Qu'il s'agisse de cours d'initiation à l'ingénierie pour les étudiants venant des biosciences, ou d'initiation aux biosciences pour ceux provenant des sciences du génie, faudrait-il néanmoins que le programme stipule le contenu et les modalités de la dispensation de cette formation. Le comité croit que cette imprécision devra être levée avant la mise en application du programme en question.

Compte tenu du fait que le problème des pré-requis d'accès à des études avancées dans une discipline connexe déborde le projet dont il est question ici, le comité l'abordera dans la partie III du présent rapport, au chapitre de ses conclusions et recommandations sur les profils.

En dépit d'un tableau d'ensemble positif, le comité garde toutefois après cette analyse une impression de fragmentation au niveau des activités de recherche. En effet, l'interdisciplinarité observée n'est pas ici nécessairement garante d'une consolidation relative des équipes, qui sont multipliées de façon excessive, de petite taille, et composées à répétition des mêmes chercheurs (séniors toutefois) dispersés dans une variété de sous-programmes dont la thématique de regroupement nous est apparue plus nominale que fonctionnelle.

L'inégalité de la distribution des subventions selon les équipes ne nous est pas apparue particulèrement significative compte tenu de la distribution répétitive des mêmes chercheurs dans différentes équipes; on y verrait là plutôt une promotion ponctuelle de certains objets de recherche, valorisés surtout par l'Institut lui-même (qui est le pourvoyeur principal) comme prioritaires, à savoir: le programme de biomasse, le laboratoire de chimie organique, le développement de l'unité des hybridomes et enfin, l'avancement général de la recherche en virologie, pour lequel il existe un programme de formation académique spécifique où 29 étudiants sont inscrits actuellement. Une telle pratique, celle de l'allocation importante de ressources internes, se comprend dans le cadre de l'I.A.F. et de ce qui le caractérise. Elle doit cependant déboucher et aller de pair avec le recours aux sources externes de subventions parce qu'elles sont susceptibles d'exercer sur ces activités de recherche un jugement collégial plus objectif et plus critique.

Enfin, des liens se sont créés avec d'autres unités de production (Institut Pasteur, I.A.F. Production Inc., Johnson & Johnson, Gibco, etc.) confirmant l'orientation de l'Institut vers de la recherche appliquée, ou, plus généralement orientée.

## APPENDICE A

Les stagiaires de recherche à l'I.A.F. selon qu'ils postulent ou non un diplôme et selon leur niveau de scolarité:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| - Post-doc. | = | 5 | stagiaires | |
| - 3e cycle | = | 9 | " " | postulant |
| 3e cycle | = | 4 | " " | non-postulant |
| - 2e cycle | = | 9 | " " | postulant |
| 2e cycle | = | 2 | " " | non-postulant |
| - 1er cycle | = | 7 | " " | postulant |
| 1er cycle | = | 2 | " " | non-postulant |
| - Collégial | = | 2 | | postulant |
| TOTAL | = | 40 | | |

# APPENDICE B

TABLEAU 5

## LES TECHNIQUES UTILISEES ET/OU DEVELOPPEES SELON LES DOMAINES D'APPLICATIONS

Bactériologie:

| Techniques | Santé hum. | % | Agro.-al. | % | Energie | % | Environ. | % | Total | % | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cult. cellulaire | 2 | | 2 | | 1 | | 1 | | 6 | 28,5 | |
| Tech. enzymologiques | 0 | | 2 | | 1 | | 1 | | 4 | 19,0 | |
| Tech. biol. moléculaire | 1 | | 1 | | 0 | | 1 | | 3 | 14,3 | |
| Génie génétique | 0 | | 1 | | 1 | | 0 | | 2 | 9,5 | |
| Fusion cellulaire | 0 | | 1 | | 1 | | 0 | | 2 | 9,5 | 80,8 |
| Tech. microb. et chim. | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 4,8 | |
| Tech. biol. cellulaire | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 4,8 | |
| Fusion des protoplastes | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 4,8 | |
| Synthèse organique | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 4,8 | |
| Total | 7 | | 7 | | 4 | | 3 | | 21 | | |
| % | | 33,3 | | 33,3 | | 19,1 | | 14,3 | | 100% | |
| | | | | → 66,6 | | | | | | | |

Virologie:

| Techniques | Santé hum. | % | Santé anim. | % | Agricult. (forest) | % | Agric. | % | Total | % | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cult. cellulaire | 17 | | 3 | | 1 | | 1 | | 22 | 31,5 | |
| Tech. immunologiques | 11 | | 2 | | 2 | | 0 | | 15 | 21,4 | |
| Tech. biol. moléculaire | 10 | | 1 | | 2 | | 1 | | 14 | 20,0 | |
| Tech. enzymologiques | 3 | | 0 | | 1 | | 0 | | 4 | 5,7 | |
| Fusion cellulaire | 3 | | 0 | | 0 | | 0 | | 3 | 4,3 | 87,9 |
| Culture insectes | 1 | | 0 | | 0 | | 1 | | 2 | 2,9 | |
| Tech. imm.-chimiques | 2 | | 0 | | 0 | | 0 | | 2 | 2,9 | |
| Tech. biochimiques | 2 | | 0 | | 0 | | 0 | | 2 | 2,9 | |
| Tech. biol. cellulaire | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,4 | |
| Proc. filtration | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,4 | |
| Tech. histo.-pathologiques | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,4 | |
| Microsc. électron. | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,4 | |
| Génie génétique | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,4 | |
| Aquaculture | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 1 | 1,4 | |
| Total | 53 | | 8 | | 6 | | 3 | | 70 | | |
| % | | 75,7 | | 11,4 | | 8,6 | | 4,3 | | 100% | |
| | | | | → 87,1 | | | | | | | |

C.R.E.S.A.L.A.:

| Techniques | Santé hum. | % | Total |
|---|---|---|---|
| Tech. biochimiques | 1 | 33,3 | 1 |
| Tech. chimiques | 1 | 33,3 | 1 |
| Tech. enzymologiques | 1 | 33,3 | 1 |
| Total | 3 | | 3 |
| % | | 100% | 100% |

PARTIE II

## 7. UNIVERSITE DU QUEBEC AUTRES CONSTITUANTES

### 7.1 DESCRIPTION SYNTHETIQUE DES DONNEES

Comme on a pu le constater, l'Institut Armand-Frappier, constituante de l'Université du Québec, a fait l'objet d'un traitement séparé, la taille des activités biotechnologiques et la spécificité de cette institution justifiant cette démarche; l'identification des lignes de force à l'Université du Québec en a ainsi été facilitée.

Hormis l'I.A.F., l'Université du Québec a fait parvenir au comité plusieurs documents concernant les activités de recherche en biotechnologies. Ce sont pour:

l'Université du Québec à Montréal:

A. Dossier préliminaire sur les biotechnologies à l'U.Q.A.M. qui présente ses axes et orientations pour les prochaines années, des commentaires sur le programme d'intervention gouvernemental en biotechnologie, les domaines d'application où l'U.Q.A.M. pourrait contribuer au développement de la recherche et de l'enseignement en biotechnologies, un bilan sommaire des activités biotechnologiques de l'institution et enfin, un rapide inventaire des projets;

B. Fiches descriptives des équipes de recherche en biotechnologies, qui complétaient l'information fournie dans le document précédent;

C. Plan triennal 1982-85 du département de sciences biologiques, identifiant les orientations de développement de l'assemblée départementale;

D. Deuxième rapport annuel du Centre de recherche en science de l'environnement (C.E.R.S.E.), réflétant l'intérêt que l'U.Q.A.M. porte à l'environnement;

E. Répertoire des mémoires de maîtrise en biologie, en chimie et en sciences de la terre;

F. Inventaire de la recherche subventionnée à l'U.Q.A.M. en sciences biologiques, en chimie, en sciences de la terre et au Centre de recherche en sciences de l'environnement de 1972-73 à 1981-82, et un document informatisé complétant ces informations pour 1983;

G. Laboratoire de géochimie isotopique, qui présente de façon détaillée les activités du laboratoire.

l'Université du Québec à Trois-Rivières:

H. Deux documents évoquant:

- la place des biotechnologies dans les priorités de l'université;
- les programmes de 1er cycle pouvant mener à des études supérieures dans un des domaines de la biotechnologie;
- les groupes de recherche en biotechnologie, (projets, personnel, publications, subventions).

l'Université du Québec à Rimouski:

I. Un document d'inventaire des travaux et ressources en biotechnologies à l'U.Q.A.R., comportant des données sur:

- la place de la biotechnologie dans les priorités de l'université;

- les programmes de 1er cycle pouvant mener à des études supérieures dans un des domaines de la biotechnologie;
- les groupes de recherche en biotechnologies, relatant en partie les informations demandées.

l'Institut national de la recherche scientifique

J. Deux petits documents d'information sur les projets de l'I.N.R.S. qui touchent la biotechnologie.

Il n'a été tiré de cet ensemble de documents que les informations utiles à notre propos et à notre analyse. Voici ces données plus en détail, constituante par constituante:

L'Université du Québec à Montréal

Orientation du développement à l'U.Q.A.M.

L'U.Q.A.M. se présente ainsi: à ses axes traditionnels de développement, l'U.Q.A.M. ajoute un nouvel axe en sciences appliquées:

> "Le développement de l'U.Q.A.M. serait fort compromis si l'université ne choisissait pas de soutenir un développement cohérent et vigoureux dans le domaine des sciences appliquées d'autant plus que ce développement correspond à des besoins évidents de la société québécoise". (Doc. A. p.3).

Le développement en question se fera dans plusieurs domaines mais notamment dans celui de l'environnement. L'U.Q.A.M. entend aussi développer prioritairement la recherche et sa programmation aux 2e et 3e cycles, la collaboration et la coopération interinstitutionnelles avec des partenaires des universités québécoises ou non, ceux des milieux socio-économiques et ceux des unités de R & D publiques et privées.

Sur le programme d'intervention gouvernemental en biotechnologies

A l'examen de ce programme, l'U.Q.A.M. dit avoir de la difficulté à situer le programme d'intervention pour le développement des biotechnologies du S.S.T. par rapport à l'importance qu'on souhaite donner au développement des biosciences en général: le retard du développement des biosciences, par exemple dans les connaissances de base de la physiologie et de la génétique végétales et des relations entre les capacités métaboliques des micro-organismes et leur environnement, est déjà attesté par les experts de l'O.C.D.E. . Une politique scientifique "intermédiaire" (entre les grands énoncés et le programme d'intervention) s'impose afin d'établir une "cartographie" plus serrée des activités de recherche scientifique en regard des besoins sociétaux et de préciser le support qui serait apporté aux universités qui désirent faire avancer les connaissances en biotechnologies, leur transmission et leur utilisation et ce, dans une perspective de qualité.

Contribution de l'U.Q.A.M. au développement des biotechnologies

Le plan triennal de l'U.Q.A.M. était en cours d'élaboration au moment de l'enquête. Toutefois,

- elle entend poursuivre l'accroissement des connaissances dans le domaine des biosciences, en assurer la transmission (formation de spécialistes), en faciliter l'utilisation. (Par souci d'adapter ses formations aux conditions les plus actuelles des pratiques scientifiques, le département de biologie a fait de la connaissance en biotechnologies un des critères d'embauche d'un de ses professeurs et les projets de congé sabbatique et de perfectionnement y font référence);

- dans la collaboration et la coopération interinstitutionnelles qu'elle privilégie dans ses orientations, l'U.Q.A.M. entend l'exercer dans le domaine de l'environnement;

- l'agro-alimentaire est un domaine d'application où elle oeuvre déjà;

- l'affectation prioritaire de ressources financières nouvelles et la réaffectation des ressources actuelles sont les conditions de tout développement nouveau dans la situation de contraintes financières que l'U.Q.A.M. vit actuellement.

Les biotechnologies dans les programmes d'enseignement à l'U.Q.A.M.

"Dans l'acceptation la plus restrictive du concept de biotechnologies, c'est-à-dire des technologies industrielles mettant en oeuvre des micro-organismes pour la création des biens et services, l'U.Q.A.M., tout comme les autres universités québécoises, n'a pas de programme d'enseignement. Elle offre cependant un ensemble de cours qui font référence à ces technologies et, plus fondamentalement, aux processus biologiques en cause" (document A, op. cit., p. 13).

Ce sont ici les départements de sciences biologiques et de chimie qui dispensent les enseignements concernés : ils regroupent respectivement 25 et 14 professeurs. La répartition de la clientèle étudiante pouvant être exposée à certains aspects des biotechnologies dans les programmes pertinents apparaît au tableau 1:

TABLEAU 1

EFFECTIFS ETUDIANTS DES BIOSCIENCES POUVANT ETRE EXPOSES DANS LEURS COURS OU LEURS TRAVAUX A CERTAINS ASPECTS DES BIOTECHNOLOGIES, AUTOMNE 1982.

| | Temps complet | Temps partiel | Rédaction | TOTAL |
|---|---|---|---|---|
| - Bacc. en biologie | 282 | 89 | - | 371 |
| - Bacc. d'ens. en biologie | 10 | 13 | - | 23 |
| - Bacc. en biochimie | 91 | 51 | - | 142 |
| - Maîtrise en biologie | 16 | - | 29 | 45 |
| - Maîtrise en chimie | 11 | - | 8 | 19 |
| - Maîtrise en sciences de l'environnement | 69 | - | 60 | 129 |
| | 479 | 153 | 97 | 729 |

Au premier cycle, selon l'U.Q.A.M., 11 cours du curriculum des sciences biologiques et 6 de celui de biochimie traitent de certains aspects des biotechnologies. On trouvera la liste de ces titres de cours à l'Appendice A situé à la fin de cet exposé sur l'Université du Québec.

Au deuxième cycle, trois programmes sont présentés par l'U.Q.A.M. comme étant particulièrement susceptibles de faire "référence à ces technologies". Ce sont:

. La maîtrise en biologie:

Son champ d'activité "inclut d'une part des études de nature écologique de certaines populations animales et végétales et d'autre part, des études, en laboratoire, des incidences du milieu sur les organismes" (document A, op. cit. p. 15).

Axée sur l'environnement, cette maîtrise offre des cours, selon l'U.Q.A.M., capables de transmettre des connaissances et des techniques afférentes aux biotechnologies dans les cours suivants:

| | |
|---|---|
| - Gestion de l'environnement | BIO 7399 |
| - Aménagement en entomologie | BIO 8220 |
| - Méthodologie cytologique | BIO 8260 |
| - Chapitres choisis en cytologie | BIO 8270 |
| - Chapitres choisis en physiologie animale | BIO 8280 |
| - Physiologie de la réponse immunitaire | BIO 8290 |
| - Microbiologie de l'environnement | BIO 8300 |
| - Aspects moléculaires de la croissance de végétaux | BIO 8320 |
| - La lutte biologique | BIO 8360 |
| - Génétique | BIO 8370 |

. La maîtrise en chimie:

Hormis le cours "Biochimie clinique et industrielle - CHI 7220", la maîtrise en chimie n'est pas directement orientée vers les biotechnologies mais dans la mesure où elle pourrait être faite en collaboration avec des institutions extérieures, les travaux pourraient cerner un champ plus vaste que celui compris dans la banque de cours.

. La maîtrise en sciences de l'environnement:

Elle est foncièrement multidisciplinaire et est offerte conjointement par le Centre d'études et de recherches en sciences de l'environnement (C.E.R.S.E) et par les départements de chimie, de sciences biologiques, de physique et de sciences de la terre; elle est ouverte à de vastes clientèles: étudiants à la maîtrise en biologie, consultants en environnement, services d'environnement de compagnies, ministères, chercheurs, etc.

Le développement de l'enseignement des sciences biologiques à l'U.Q.A.M.

Le document C auquel nous nous référons ici a été rédigé dans le cadre du plan triennal 1982-85 par le département des sciences biologiques et vise à identifier ses orientations de développement dans le nouvel axe des sciences appliquées en général et dans le sous-axe de l'environnement en particulier. Nous ne retiendrons de ce document que les propositions de développement qui concernent les biotechnologies. Il y est proposé:

- qu'un programme de certificat de 2ième cycle en biotechnologie appliquée à l'agro-alimentaire soit mis en place;
- qu'un élargissement de la banque de cours de 2ième cycle soit fait afin d'accueillir des étudiants provenant soit du baccalauréat en biologie, soit de la maîtrise professionnelle en environnement et désirant travailler en agro-alimentaire;
- qu'un certificat de 1er cycle soit mis en place en agro-alimentaire.

Le département soutient aussi un projet d'implantation d'un 3ième cycle multidisciplinaire en biologie de l'environnement, orientation jugée "unique" au Québec.

. Le certificat de 2ième cycle en biotechnologie appliquée à l'agro-alimentaire:

S'adresserait aux candidats engagés dans le domaine de l'agro-alimentaire et aux étudiants de biologie moléculaire; ce certificat viserait une formation appliquée en manipulation génétique, en culture de tissus, en fermentations, etc. Il pourrait comporter des cours en:

- biotechnologie et système agro-alimentaire;
- microbiologie de l'agro-alimentaire;
- culture de tissus;
- manipulation génétique chez les procaryotes;
- manipulation génétique chez les eucaryotes;
- production végétale;
- production animale;
- chimie alimentaire;
- fermentations;
- stage;
- etc.

. Le certificat de 1er cycle en agro-biologie:

Insisterait sur les aspects écologiques de la production alimentaire et s'adresserait aux personnes travaillant en agro-alimentaire et aux étudiants en biologie désirant oeuvrer dans ce domaine. Il pourrait comporter des cours en:

- système agro-alimentaire;
- contrôle intégré des organismes nuisibles;
- écologie des sols;
- communautés végétales agricoles;
- cycle des productions animale et végétale;
- mycologie et phycologie;
- espace agraire;
- stage en agro-biologie;
- etc.

Il semble, selon le document, que plusieurs professeurs du département de biologie entendent poursuivre leurs activités dans le domaine de l'agro-alimentaire et que l'intérêt accru du département pour la biotechnologie et l'écologie appliquées à ce domaine devra se manifester autant dans des enseignements spécifiques aux 1er et 2ième cycles que dans les programmes de recherche.

A ce dernier propos, le département vise la création éventuelle d'un laboratoire spécialisé en biotechnologie appliquée à l'agro-alimentaire, l'embauche de trois nouveaux professeurs en phytopathologie, en manipulation génétique et en production animale, et l'acquisition d'une série d'appareils spécialisés.

Les diplômés de l'U.Q.A.M. dans les sciences concernées

Le Répertoire des mémoires de maîtrise acceptés en biologie, en chimie et en sciences de la terre (cf. doc. E) nous renseigne du moins sur le nombre de diplômés issus de cette institution depuis 1978, soit 5 ans. Le tableau 2 résume ces données:

TABLEAU 2

| NOMBRE DE DIPLOMES A LA MAITRISE EN SCIENCES<br>Université du Québec à Montréal | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Biologie | Science atmosphère | Science terre | Chimie | TOTAL |
| 1978 | 5 | 2 | 0 | 5 | 12 |
| 1979 | 9 | 1 | 2 | 1 | 13 |
| 1980 | 10 | 6 | 0 | 5 | 21 |
| 1981 | 7 | 0 | 4 | 5 | 16 |
| 1982 | 7 | 0 | 5 | 5 | 17 |
| TOTAL | 38 | 9 | 11 | 21 | 79 |

Les équipes de recherche en biotechnologie

L'inventaire des travaux de recherche présentés par cette constituante retrace les activités de deux départements de la Famille des sciences - biologie et chimie - où l'on retrouve 11 équipes de recherche adjoignant 17 chercheurs et 22 adjoints de recherche, étudiants aux études avancées et agents de recherche, que nous avons cru bon de mentionner comme tels dans le tableau qui suit, vu leur importance en terme de nombre. En réalité ces 11 équipes mettent à profit les expertises de 35 personnes (13 professeurs, 22 étudiants) et aussi celle de plusieurs chercheurs associés d'autres universités qui agissent à titre de partenaires de la recherche ou de consultants, et qui seront mentionnés plus loin.

TABLEAU 3

| LES UNITES DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE (U.Q.A.M.) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Faculté (Famille) | Département | Chercheur principal | No. "adjoints de recherche" | No. total de cherch. |
| 1. Sciences | Sciences biolog. | Dubuc-Lebreux | 0 | 1 |
| 2. " | " " | Fournier | 3 | 4 |
| 3. " | " " | Morin | 2 | 3 |
| 4. " | " " | Sarhan | 3 | 4 |
| 5. " | " " | Cheneval | 0 | 1 |
| 6. " | " " | Messing | 1 | 2 |
| 7. " | " " | Tourneur | 7 | 11 |
| 8. " | " " | Reveret | 2 | 5 |
| 9. " | " " | Boucher | 0 | 1 |
| 10. Sciences | Chimie | Jaouich | 3 | 4 |
| 11. " | et CRSE | Denizeau | 1 | 3 |

Les projets de recherche sur lesquels travaillent ces chercheurs ainsi que les autres données recueillies seront mentionnés et/ou utilisés si nécessaire tout au long de l'analyse qui suit cette présentation.

Organisme central spécifique

Un groupe de travail ad hoc sur les biotechnologies, formé en février 1983, est chargé de faire un rapport complet sur les activités biotechnologiques et ses perspectives de développement à l'U.Q.A.M. .

Ajoutons toutefois ici, pour l'ensemble des constituantes, qu'un colloque a été organisé, à cette même date, à l'Institut Armand-Frappier dans le cadre du "défi biotechnologique" à relever pour toutes les institutions du réseau U. du Q.. Ce colloque, nous a-t-on dit, a fourni l'occasion du "coup d'envoi" de l'intérêt qui s'y développe pour les biotechnologies.

## L'Université du Québec à Trois-Rivières

### La place des biotechnologies dans les priorités de l'université

Poursuivant des axes de développement en bio-physico-chimie de l'environnement, l'U.Q.T.R. favorise la poursuite d'activités contribuant aux domaines de la biotechnologie dans les techniques du génie génétique et du génie des procédés et des systèmes, et visant des retombées en traitement des déchets, lutte contre la pollution, production d'aliments, mise au point de produits bio-médicaux.

### Les programmes de 1er cycle pouvant mener à des études supérieures dans un des domaines de la biotechnologie.

L'U.Q.T.R. cite quatre programmes de 1er cycle pouvant préparer à des études avancées dans un des domaines d'exercice de la biotechnologie. Il s'agit de:

- Biologie
- Biochimie
- Biologie médicale
- Biophysique *

Ensuite, elle énumère un certain nombre de cours, extraits des annuaires du 1er cycle, comportant des éléments de connaissances en biotechnologie. On trouvera la liste de ces titres de cours à l'Appendice B situé à la fin de l'exposé sur l'U. du Q.

---

* L'U.Q.T.R. possède aussi des programmes de 1er cycle en génie industriel, sciences de l'environnement, chimie et chimie industrielle (tech. sup.)

Les programmes d'études avancées à l'U.Q.T.R.

Malgré le peu d'informations données par la constituante elle-même à ce sujet, le comité croit bon de mentionner ici que cet établissement dispense des programmes de 2ième cycle en chimie, sciences de l'environnement, sciences de l'énergie et un programme de maîtrise professionnelle en sciences des pâtes et papiers. Lors de la rencontre avec les représentants de cette constituante, la nécessité de mettre sur pied un programme de 3ième cycle en sciences des pâtes et papiers leur apparaissait indubitable, bien qu'une réflexion plus poussée sur son contenu et sa vocation (professionnelle ou non) reste encore à faire.

Les groupes de recherche en biotechnologie

Comme en fait foi le tableau 4, l'U.Q.T.R. présente des activités réparties au département de chimie/biologie et au Centre de recherche en pâtes et papiers, qui mettent à profit les connaissances de six chercheurs et de neuf adjoints de recherche dont six étudiants à la maîtrise et trois diplômés du 3ième cycle. Ces trois équipes cumulent réellement la participation de 15 personnes.

TABLEAU 4

| LES UNITES DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE (U.Q.T.R.) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. Groupe/ Centre | Département | Chercheur principal | No. adjoints de rech. | No. total de cherch. |
| 2. Groupe de rech. sur les insectes piqueurs | Chimie/ biologie | Charpentier | 2 | 4 |
| 3. Groupe de rech. en motilité cellulaire | Chimie/ biologie | Gicquaud | 3 | 4 |
| Centre de rech. en pâtes et papiers | | Valade | 4 | 7 |

## L'Université du Québec à Rimouski

### La place des biotechnologies dans les priorités de l'université

A l'U.Q.A.R., on se présente muni d'une attitude d'ouverture pour favoriser l'utilisation croissante des techniques relevant des biotechnologies.

### Les programmes de 1er cycle pouvant mener à des études supérieures dans un des domaines de la biotechnologie.

L'U.Q.A.R. cite quatre de ses programmes de premier cycle pouvant mener à des études avancées dans un des domaines de la biotechnologie; ce sont:

- Biologie
- Biologie-chimie
- Biologie-mathématiques
- Biologie-physique

Elle énumère ensuite des cours qui y sont dispensés et qu'elle considère comporter des éléments spécifiques à la biotechnologie. Cette liste de titres de cours apparaît à l'Appendice C situé à la fin de cet exposé sur l'U. du Q.

Cette constituante ne dispense aucun programme d'études supérieures qu'elle relie aux biotechnologies.

### Les groupes de recherche en biotechnologie

Le tableau 5 relate que cinq chercheurs travaillent en biotechnologie, probablement au département de sciences pures et appliquées, dont quatre chercheurs seniors et un chercheur post-doctoral.

TABLEAU 5

| LES UNITES DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE (U.Q.A.R.) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Groupe/ Laboratoire | Département | Chercheur principal | No. "adjoint de rech." | No. total de cherch. |
| Labo. étud. en régulation métabolique | Sc. pures et appliquées | Strachan | - | 3 |
| | | Rajotte | 1 | 2 |

L'Institut national de recherche scientifique

Les groupes de recherche en biotechnologie

Ne disposant pas de plus d'informations sur les priorités de l'Institut ou ses programmes, nous présentons illico en tableau l'inventaire sommaire que l'I.N.R.S. a fait parvenir de ses activités en biotechnologie. Il regroupe sept chercheurs séniors et un chercheur post-doctoral (en tout huit personnes) et il est réparti dans quatre centres différents.

TABLEAU 6

| LES UNITES DE RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE (I.N.R.S.) | | | |
|---|---|---|---|
| Centre | Chercheur principal | No. adjoints de rech. | No. total de cherch. |
| Océanographie | Marsot | - | 1 |
| Energie | Dao | 1 | 2 |
| Santé | Cooper | - | 1 |
| | Massé | - | 1 |
| | Gauvreau | - | 1 |
| Géoressources | Héroux | - | 1 |
| | Héroux | - | 1 |

Commentaires:

Grosso modo, en ce qui a trait aux unités de recherche, trois constituantes et un institut rattaché à l'Université du Québec (sans compter l'I.A.F.) présentent 22 petites équipes de recherche regroupant 30 chercheurs (personnes) séniors et 33 adjoints, étudiants ou post-doctoraux. Selon les priorités que les constituantes se sont données, ces chercheurs devraient s'orienter vers les domaines de l'environnement, de l'agro-alimentaire, de l'énergie et du bio-médical. L'examen, qui suivra, des données fournies par l'Université du Québec permettra de dégager un portrait plus précis de ces activités et d'en analyser la pertinence. (7.2 et 7.3).

Par ailleurs, en ce qui a trait aux programmes de cours - à l'exception de l'I.N.R.S.* - toutes les constituantes reconnaissent que certains cours du 1er cycle, dispensés dans les biosciences, comportent actuellement des éléments importants spécifiques à la biotechnologie. Par contre, seule l'Université du Québec à Montréal cherche à intégrer dans des curriculums d'études spécifiques des préoccupations de développement en environnement et en agro-alimentaire en proposant l'instauration de deux certificats, l'un au 1er cycle, et l'autre au 2ième, et un 3ième cycle multidisciplinaire en biologie de l'environnement. A l'Université du Québec à Trois-Rivières, on songe également à proposer l'implantation d'un 3ième cycle en sciences des pâtes et papiers, pour des raisons identiques à celles de l'U.Q.A.M.: développer un instrument de perfectionnement qui s'inscrit dans le continuum de ses préoccupations et du développement de ses expertises actuelles. Sur cette question, quelques considérations seront émises en conclusion (7.4).

---

* et pour cause puisqu'il ne dispense pas de programme de 1er cycle.

## 7.2 PORTRAIT DES TENDANCES

La mise en relation d'un certain nombre de données descriptives fournies par les diverses constituantes permettra ici de tracer, à l'aide de tableaux statistiques, le portrait des tendances qui se dégagent des activités en biotechnologie de ces différentes institutions.

### Les domaines de recherche en biotechnologie

En dehors de l'I.N.R.S., centre de recherche dont les activités sont réparties sous des appellations qui identifient clairement les thématiques de recherche (santé, énergie, géoressources, océanographie), les activités de recherche des autres constituantes concernées ici (U.Q.A.M., U.Q.T.R., U.Q.A.R.) sont majoritairement concentrées en biologie (67,7%) en ce qui a trait au nombre de chercheurs séniors impliqués, puis en sciences des pâtes et papiers* (22,6%) et enfin, en chimie qui cumule un pourcentage de 9,7% des ressources humaines consacrées aux recherches en biotechnologie dans cette discipline et ce, selon l'inventaire des ressources affectées fourni par les institutions et sans égard à un examen plus approfondi des projets sur le plan de la pertinence. Le tableau 7 relate cette répartition globale de l'U.Q.A.M., l'U.Q.A.R. et l'U.Q.T.R. réunies.

TABLEAU 7

REPARTITION DES UNITES DE RECHERCHE ET DES CHERCHEURS SELON LES DEPARTEMENTS (3 CONSTITUANTES)

| Départements | No. unités | % | No. chercheurs | % |
|---|---|---|---|---|
| Biologie | 13 | 81,3 | 21 | 67,7 |
| Sc. pâtes et papiers | 1 | 6,2 | 7 | 22,6 |
| Chimie | 2 | 12,5 | 3 | 9,7 |
| TOTAL | 16 | 100% | 31 | 100% |

*: C'est nous qui interprétons l'appartenance départementale du groupe de recherche du Centre des pâtes et papiers.

Les filières d'application en biotechnologie

Une remarque sous le tableau 8 souligne l'absence de données pour le département de chimie de l'U.Q.A.M., pour l'ensemble des projets de l'U.Q.T.R. et de l'I.N.R.S. Ces lacunes entament sérieusement la justesse du portrait que ce chapitre tente de tracer. Toutefois, afin de ne pas pénaliser les deux constituantes qui ont répondu de façon plus exhaustive à la grille d'enquête, nous allons poursuivre cette démarche en suggérant au lecteur de garder en mémoire qu'elle repose sur des données partielles. Dans la mesure où des déductions seront possibles à partir de la lecture des projets de recherche, nous nous permettrons d'enrichir le portrait statistique de nuances appropriées.

TABLEAU 8

REALISATIONS/PRODUITS ENVISAGES EN RELATION AVEC LES FILIERES D'APPLICATION

| Constituantes | Réalisations/ produits | No. de mentions* | % | Filières d'application | % |
|---|---|---|---|---|---|
| U.Q.A.M. (Biologie) (9 unités) | - Renouvellement des tech. agricoles et horticoles | 4 | 44,5 | Agriculture Horticulture | 37,5 |
| | - Biotraitement des pollutions | 2 | 22,2 | Agro-alim. Trait. déchets | 37,5 |
| | - Produits biologiques | 2 | 22,2 | | |
| | - Produits biol. ou pharmaceutiques | 1 | 11,1 | Santé | 25,0 |
| | Total | 9 | 100% | | |
| U.Q.A.R. (2 unités) | - Produits aliment. | 1 | 50,0 | Agro-aliment. | 50,0 |
| | - Produits analytiques | 1 | 50,0 | Santé | 50,0 |
| | Total | 2 | 100% | | |

*: Le comité ne disposait pas des réponses à la grille des mots-clés sur les micro-organismes utilisés, les techniques, les domaines d'application et les produits et ce, pour le département de chimie de l'U.Q.A.M., pour l'U.Q.T.R. et l'I.N.R.S.. Cette remarque vaut aussi pour tous les tableaux utilisés dans le point 7.2.

Les mentions de filières d'applications visées par les projets de recherche - telles que signalées dans les documents soumis par les constituantes en réponse aux questions d'enquête - se répartissent d'une façon presque équivalente en trois domaines d'applications qui regroupent, pour deux d'entre eux, des cibles d'applications si convergentes qu'il a été plus utile de les réunir pour fins d'analyse. En effet, l'agro- alimentaire et le traitement des déchets, intimement liés dans les recherches en question, cumulent 38,9% des filières visées par les projets, l'agriculture et l'horticulture, reliées pour leur affinité, totalisent 33,3% des mentions de filières visées, et la santé 25% des mentions, comme en fait foi le tableau 8.

Si nous avions à présumer des filières visées par les projets sur lesquels nous n'avons pas eu de données plus exhaustives que le libellé du projet de recherche, nous pourrions faire l'hypothèse qu'à ce tableau s'ajouteraient:

- deux mentions en agro-alimentaire et traitement des déchets relatives aux activités de l'U.Q.T.R. (pâtes et papiers) et de l'I.N.R.S. (océan);
- deux mentions en environnement et lutte biologique quant aux activités de l'U.Q.T.R. (biologie) et de l'I.N.R.S. (santé);
- deux mentions en énergie relativement aux activités de l'I.N.R.S. (énergie et géoressources);

- deux mentions en santé relativement à des activités à l'U.Q.T.R. (biologie) et à l'I.N.R.S. (santé).

Ces ajouts laissent présumer d'une modification sensible du tableau d'ensemble de la répartition des filières d'applications visées par les projets, qui pourrait être la suivante:

| | | |
|---|---|---|
| . agro-alimentaire et traitement des déchets | 32% | 40% |
| . environnement et lutte biologique | 8% | |
| . santé | 28% | |
| . agriculture et horticulture | 24% | |
| . énergie | 8% | |

Quelle que soit la valeur de ce petit exercice de programmation, il n'en reste pas moins que les filières visées sont relativement convergentes avec les préoccupations prioritaires de l'Université du Québec ou du moins, avec l'orientation de ses programmes vers l'environnement (y compris l'agro-alimentaire):

- L'amélioration de l'environnement par des préoccupations de recherche aussi variées que la toxicologie de l'environnement (pesticides, toxines alimentaires, matériaux fibreux cancérigènes, B.P.C. et H.P.A.), le biotraitement des pollutions (purin de porc, insectes nuisibles), la récupération de la biomasse (forestière et animale) à des fins alimentaires ou énergétiques (production de protéines animales ou de carburants) et enfin, la culture d'algues;

- l'amélioration de la santé humaine pourrait ici constituer une autre cible prioritaire par ses recherches sur le rôle de la vitamine B12 et les méfaits d'exposition des travailleurs aux agents génotoxiques, tout comme celle des plantes en agriculture par la mise au point de cultivars, la manipulation génétique du blé ou la fixation de l'azote;

- la production d'énergie, enfin, semble une cible qui alimente des travaux en récupération tertiaire du pétrole et en formation d'hydrocarbures synthétiques sans compter celle récupérée de la biomasse.

Les techniques utilisées et/ou développées

TABLEAU 9

LES TECHNIQUES UTILISEES ET/OU DEVELOPPEES EN REGARD DE LEUR FILIERE D'APPLICATION

| U.Q.A.M. Biologie seulement | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Filières / Techniques | Agricul- ture | % | Agro- al. | % | Santé | % | Horti- cul. | % | Trait. déch. | % | TOTAL | % |
| Fusion cellulaire | 2 | | 2 | | 1 | | 1 | | 0 | | 6 | 26,1 |
| "Association" | 2 | | 2 | | 1 | | 0 | | 0 | | 5 | 21,8 |
| Culture cellulaire | 1 | | 1 | | 2 | | 0 | | 0 | | 4 | 17,4 |
| Fermentations | 1 | | 1 | | 0 | | 0 | | 1 | | 3 | 13,0 |
| Sélect. souches | 1 | | 1 | | 0 | | 1 | | 0 | | 3 | 13,0 |
| Génie génétique | 0 | | 0 | | 2 | | 0 | | 0 | | 2 | 8,7 |
| TOTAL | 7 | | 7 | | 6 | | 2 | | 1 | | 23 | |
| % | | 30,4 | | 30,4 | | 26,1 | | 8,7 | | 4.4 | | 100% |

| U.Q.A.R. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Filières / Techniques | Agro-alim. | % | Santé | % | TOTAL | % |
| Culture cellulaire | | | 1 | | 1 | 33,4 |
| Système enzym. | 1 | | | | 1 | 33,3 |
| Fermentations | 1 | | | | 1 | 33,3 |
| TOTAL | 2 | | 1 | | 3 | |
| % | | 66,7 | | 33,3 | | 100% |

TABLEAU 9 (suite)

LES TECHNIQUES UTILISEES ET/OU DEVELOPPEES EN REGARD DE LEUR FILIERE D'APPLICATION

TOUTES LES CONSTITUANTES *

| Filières / Techniques | Agro-alim. | % | Agric. | % | Santé | % | Horti-culture | % | Trait. déch. | % | Total | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fusion cellulaire | 2 | | 2 | | 1 | | 1 | | 0 | | 6 | 23,1 |
| "Association" | 2 | | 2 | | 1 | | 0 | | 0 | | 5 | 19,2 |
| Culture cellulaire | 1 | | 1 | | 3 | | 0 | | 0 | | 5 | 19,2 |
| Fermentations | 2 | | 1 | | 0 | | 0 | | 1 | | 4 | 15,4 |
| Sélect. souches | 1 | | 1 | | 0 | | 1 | | 0 | | 3 | 11,5 |
| | | | | | | | | | | | | 88,4 |
| Génie génétique | 0 | | 0 | | 2 | | 0 | | 0 | | 2 | 7,7 |
| Système enzym. | 1 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | 3,9 |
| TOTAL | 9 | | 7 | | 7 | | 2 | | 1 | | 26 | |
| % | | 34,6 | | 26,9 | | 26,9 | | 7,7 | | 3,9 | | 100% |
| | | | | | | 88,4 | | | | | | |

* Rappel: A l'exception de chimie à l'U.Q.A.M., de l'U.Q.T.R. et de l'I.N.R.S. pour lesquels nous n'avons pas de données.

Il ressort d'ailleurs du tableau-synthèse (3ième partie) la prépondérance, en terme quantitatif de mentions d'utilisation de techniques, du domaine de l'agro-alimentaire (34,6%) - qui, joint au traitement des déchets, totaliserait 38,5% - de l'agriculture (26,9%) - qui, joint à l'horticulture, totaliserait 34,6% - et de la santé (26,9%); ces pourcentages regroupés corroborent les résultats indicatifs du tableau 8, sur les filières d'applications.

En ce qui a trait aux techniques développées, on remarque que les priorités vont d'abord:

- à la fusion cellulaire en agriculture/horticulture, agro-alimentaire et santé (total 23,1%);
- aux techniques d'"association ou d'allélopathie" - " qui visent à mettre en évidence et promouvoir les interactions positives et négatives d'espèces différentes mises en contact" (cf. document A, p. 17) (19,2%); à la
- culture cellulaire, en santé, agriculture, agro-alimentaire (19,2%); à la
- technologie des fermentations en agro-alimentaire - traitement des déchets et en agriculture (15,4%);
- à la sélection de souches en agriculture/horticulture et en agro-alimentaire (11,5%);

D'autres pratiques occupent une place moins importante - étant mentionnées moins fréquemment par les chercheurs. Ce sont le génie génétique et les systèmes enzymatiques.

Des précisions sur les projets de l'U.Q.T.R., particulièrement au Centre des pâtes et papiers auraient probablement permis de mettre plus d'accent sur le développement de certaines techniques, notamment sur celle des fermentations.

Les réalisations/produits envisagés

L'inventaire des mentions de réalisations/produits envisagés attachées aux projets permet de cumuler une indication supplémentaire pour tracer le portrait proposé. Le tableau 10 met en pourcentage le nombre de mentions relevé quant aux réalisations envisagées et ce, par constituante et en relation avec les filières d'applications (en pourcentage) déjà circonscrites dans le tableau 8.

TABLEAU 10

REALISATIONS/PRODUITS ENVISAGES EN RELATION AVEC LES FILIERES D'APPLICATIONS

| Constituantes | Réalisations/ produits | No. de mentions* | % | Filières d'applications | % |
|---|---|---|---|---|---|
| U.Q.A.M. (biologie) (9 unités) | - Renouvellement des tech. agricoles et horticoles | 4 | 44,5 | Agriculture Horticulture | 37,5 |
| | - Biotraitement des pollutions | 2 | 22,2 | Agro-alim. Trait. déchets | 37,5 |
| | - Produits biologiques | 2 | 22,2 | | |
| | - Produits biol. ou pharmaceutiques | 1 | 11,1 | Santé | 25,0 |
| | Total | 9 | 100% | | |
| U.Q.A.R. (2 unités) | - Produits aliment. | 1 | 50,0 | Agro-aliment. | 50,0 |
| | - Produits analytiques | 1 | 50,0 | Santé | 50,0 |
| | Total | 2 | 100% | | |

*: Non disponible pour l'U.Q.T.R. et l'I.N.R.S. et chimie de l'U.Q.A.M.

Le résultat observable de ce tableau est relativement convergent avec les filières visées. En effet, le renouvellement de certaines techniques agricoles et horticoles comme réalisation envisagée (44,5%) corrobore la place importante que tient à l'U.Q.A.M. l'intervention dans les domaines de l'agriculture et de l'horticulture (27,5% des ressources humaines). Les réalisations/produits envisagés en agro-alimentaire et en traitement des déchets (37,5%) sont le biotraitement des pollutions (22,2%) et dans certains cas, produits biologiques comme un anticulicide, par exemple. On peut attribuer aussi au domaine de la santé (25%) la réalisation de certains produits biologiques (protéine stabilisatrice de la vitamine B12 par exemple) et des produits pharmaceutiques (11,1%).

Pour l'U.Q.A.R., la petite taille des activités rend la corrélation domaines-produits évidente, comme on peut le constater à lecture du tableau.

Les subventions de recherche

Comme il a été fait pour les universités précédentes, on fera état ici des fonds alloués aux équipes de chercheurs par les principaux organismes subventionnaires en tant qu'indicateurs de premier ordre de la caution obtenue des pairs par ces chercheurs et/ou ces équipes. Le tableau 11 retrace l'inventaire de ces fonds pour 1981-82, en guise d'année-témoin. Cependant, dans certains cas, ceux de chercheurs nouveaux ou de chercheurs très récemment impliqués dans des projets en biotechnologie, il a fallu procéder comme ailleurs dans les mêmes cas, c'est-à-dire relever du moins les subventions pour l'année 1982-83. Un renvoi indique clairement ces cas.

La deuxième observation préalable à la lecture de ce tableau concerne l'absence systématique de données de subventions pour l'U.Q.T.R. et l'I.N.R.S.: en l'occurence, il a fallu recourir au document fourni par l'Université du Québec, "Inventaire 1981-82 de la recherche subventionnée et commanditée, Université du Québec", où la compilation par chercheur s'est avérée plutôt fastidieuse. Le comité en profite pour souligner le peu d'exhaustivité qui a présidé à la préparation des documents des différentes constituantes de l'Université du Québec. Le comité s'interroge sur la façon dont cette enquête a été prise en considération si ce n'est sur la difficulté interne de l'université de coordonner une préparation méthodique et complète des réponses à nos questions d'enquête. Des demandes ultérieures (à la visite) d'informations ont pallié un tant soi peu ces lacunes mais la contrainte, pour le comité, de procéder à la mise en forme des données et à une analyse dans les plus brefs délais a freiné la possibilité de recourir de nouveau à la quête d'informations manquantes.

La troisième et dernière constatation concerne une particularité des équipes de recherche de cette université, épaulées par un grand nombre d'étudiants - notamment du 2e cycle: leur nombre a été exclu du décompte des subventions et de l'établissement des moyennes. Les moyennes sont celles du nombre réel de chercheurs subventionnés.

TABLEAU 11

REPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 1981-82, PAR EQUIPE ET PAR CONSTITUANTE EN $

| Constituante/ département | Chercheur principal | CRSNG | FIR | CRSAQ | MIN. CAN. | IRSST | FCAC | IRDA | Interne | Autres | Total | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| U.Q.A.M. Biologie 14/13 cherch. | Dubuc-Lebreux[1] | 37,400[1] | | 12,400[1] | | | | | | | | |
| | Fournier | 17,000 | 8,136 | | 2,925 | | | | | | | |
| | Morin | | 5,000[1] | 20,000[2] | | | | | | | | |
| | Sarhan | 9,200 | | | 27,300 | | | | | | | |
| | Cheneval | - | - | - | - | | | | | | | |
| | Messing | | 3,882 | | | 15,000 | | | | | | |
| | Tourneur | 14,500 | | 7,400 | 12,000 | | 36,000 | | | | | |
| | Reveret | | | | | | | | | 1,700 | | |
| | Boucher | 42,479 | | | | | | | | | | |
| | Sous-total | 120,570 | 17,010 | 39,800 | 42,220 | 15,000 | 36,000 | | | 1,700 | 272,300 | 20,940 |
| Chimie 3/2 cherch. | Jaouich | ND | | | | | | 92,480[3] | | | | |
| | Denizeau | | | | | | | | | | | |
| | Sous-total | | | | | | | 92,480 | | | 92,480 | 46,240 |
| Sous-total (U.Q.A.M.) | 17/15 cherch. | 120,570 | 17,010 | 39,800 | 42,220 | 15,000 | 36,000 | 92,480 | | 1,700 | 364,780 | 24,310 |
| U.Q.T.R. Chim./Biol. 3/3 cherch. | Charpentier | 9,000[4] | 5,027[4] | | | | | | 2,000[4] | 2,205[4] | | |
| | Gicquaud | 9,662[4] | 1,967[4] | | | | 27,600[4] | | 800[4] | | | |
| | Sous-total | 18,662 | 6,980 | | | | 27,600 | | 2,800 | 2,205 | 58,240 | 19,413 |
| Pâtes et papiers 7/5 cherch. | Valade | 55,069 | | | | | 188,300 | | | | 243,360 | |
| | Sous-total | 55,069 | | | | | 188,300 | | | | 243,360 | 48,670 |
| Sous-total (U.Q.T.R.) | 10/8 cherch. | 73,720 | 6,980 | | | | 215,900 | | 2,800 | 2,205 | 301,605 | 37,700 |

1: Pour 1982-83, en collaboration avec le laboratoire de culture de tissus de l'Institut botanique de l'U. de M.
2: En collaboration avec l'IAF.
3: Accordé au chercheur associé.
4: Tiré de: Inventaire 1981-82 de la recherche subventionnée et commanditée [illegible] au Québec.

TABLEAU 11 (suite)

REPARTITION DES SUBVENTIONS DE RECHERCHE DES ORGANISMES SUBVENTIONNAIRES POUR 1981-82, PAR EQUIPE ET PAR CONSTITUANTE EN $

| Constituante/ département | Chercheur principal | CRSNG | FIR | CRSAQ | MIN. CAN. | IRSST | FCAC | IRDA | Interne | Autres | Total | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| U.Q.A.R. Sc. pures & appl. 4/4 cherch. | Strachan<br>Rajotte | | 28,275[1] | | | | | | 10,000 | | | |
| Sous-total (U.Q.A.R.) | 4 cherch. | | 28,275 | | | | | | 10,000 | | 38,275 | 9,560 |
| I.N.R.S. Océanogr. 1/1 cherch. | Marsot | 7,000[4] | | | | | 59,225[4] | | | | | |
| | Sous-total | 7,000 | | | | | 59,225 | | | | 66,225 | 66,225 |
| Energie 1/1 cherch. | Dao | 6,398[4] | | | | | | | | 8,242[4] | | |
| | Sous-total | 6,398 | | | | | | | | 8,242 | 14,630 | 14,630 |
| Santé 3/2 cherch. | Cooper<br>Massé<br>Gauvreau | 11,000[4]<br>11,000[4]<br>- | | | | | 30,000[4] | | | | | |
| | Sous-total | 22,000 | | | | | 30,000 | | | | 52,000 | 26,000 |
| Géoressources 1/1 | Héroux<br>Héroux | 9,000[4]<br>- | | | 40,000[4]<br>- | | | | | 11,025[4]<br>2,500[4]<br>- | | |
| | Sous-total | 9,000 | | | 40,000 | | | | | 13,525 | 62,520 | 62,520 |
| Sous-total (I.N.R.S.) | 6/5 cherch. | 44,390 | | | 40,000 | | 89,220 | | | 21,760 | 195,370 | 39,070 |
| GRAND TOTAL | 32 cherch.<br>30 personnes[5] | 238,680 | 52,265 | 39,800 | 82,220 | 15,000 | 341,120 | 92,480 | 12,800 | 25,665 | 900,030 | 28,126<br>30,000 |

5: Excluant les adjoints de recherche étudiants.

La lecture de ce tableau de subventions de recherche par équipe et par constituante révèle, d'une façon globale, la faiblesse de certaines moyennes de subventions et une moyenne générale de 30K. Il faut en effet souligner l'obtention appréciable de fonds en océanographie et en géoressources à l'I.N.R.S., de même qu'au Centre des pâtes et papiers de l'U.Q.T.R. et en chimie à l'U.Q.A.M.

D'autres considérations doivent cependant intervenir dans l'analyse des résultats de ce tableau: la jeunesse de l'institution, la concentration du développement au premier cycle et sa déconcentration régionale n'ont pas favorisé jusqu'ici la constitution d'équipes consolidées et rodées de longue date (à l'exception des pâtes et papiers à l'U.Q.T.R.) et le développement rapide de la recherche. La vocation que s'est vue attribuer cette jeune université ne pouvait l'amener à rivaliser avec des universités plus anciennes qui ont eu le loisir de recruter des chercheurs et de se nantir d'équipements adéquats dans des années - déjà plutôt lointaines - où les fonds étaient plus accessibles. Dans cet esprit, l'analyse pourrait même conduire à un constat plutôt positif: celui d'applaudir à l'effort consenti en recherches dans les domaines des biotechnologies, compte tenu de la petite taille des départements et de la "jeunesse" des chercheurs, compte tenu de l'absence d'un éventail complet des disciplines des biosciences sur les campus, dont l'interrelation devient un avantage en recherches "biotechnologiques", compte tenu de l'absence chronique d'équipement et enfin, compte tenu de l'isolement des chercheurs dans de toutes petites équipes - ce qui les pousse, à raison, à s'adjoindre la collaboration de chercheurs chevronnés d'autres établissements, malgré les inconvénients que représentent les distances géographiques à franchir.

Enfin, il est à remarquer la présence soutenue du Fonds F.C.A.C. - dont la contribution est la plus élevée (341K) et celle du C.R.S.N.G. (239K) quand, par ailleurs, l'assistance des fonds internes est assez mince (65K) pour nourrir trois constituantes et un institut de recherche. Bref, un peu moins d'un million de dollars est consacré aux équipes de recherche concernées par notre propos - dont la pertinence des travaux sera examinée au prochain point.

## Conclusion

Une polarisation des objectifs de recherche dans les filières de l'agro-alimentaire et du traitement des déchets d'abord, puis dans celles de l'agriculture et de l'horticulture et enfin, dans celle de la santé caractérise la recherche à l'Université du Québec, sans compter l'Institut Armand-Frappier dont la cible principale est la santé comme on l'a vu dans l'analyse précédente.

Les techniques particulièrement utilisées ou développées sont celles de la culture et de la fusion cellulaires (42,3%), des fermentations (15,4%), de la sélection de souches (11,5%). Une singularité de l'U.Q.A.M.: l'utilisation d'une technique dite "d'association" (19,2%) dont la définition* ne parvient pas à résoudre l'hésitation à la ranger parmi les techniques inhérentes aux praxis biotechnologiques. L'évolution de ces projets qui, semble-t-il, sont en phase initiale, saura peut-être circonscrire la portée biotechnologique ou non des instruments d'approche utilisés.

Les mentions de réalisations envisagées corroborent, dans une bonne mesure, l'importance accordée aux filières visées, évoquées dans le premier paragraphe de cette conclusion.

Malgré l'aspect partiel des données fournies par les constituantes, le tableau des subventions trace le portrait d'équipes jeunes, de petite taille, assistées d'étudiants du 2e cycle pour la majorité, peu subventionnées à l'exception de deux secteurs de l'I.N.R.S. et de deux départements de constituantes où le niveau de subventions est comparable à d'autres universités, et de surplus sous-équipées si l'on tient compte des remarques qui accompagnaient la description des projets et qui soulignaient, sous la rubrique "équipements disponibles", les besoins urgents à combler, pour l'U.Q.A.M. du moins.

---

* Cf. techniques en 7.2 page 23

Le contexte du développement de l'Université du Québec explique et nuance à la fois la notion de présence de "masse critique" - nécessaire au leadership scientifique, à la solidité des démarches, à l'atteinte des objectifs de recherche - notion évaluée jusqu'à maintenant comme indispensable au développement de la recherche.

L'absence ou la faiblesse ici des facteurs (équipes consolidées, présence de chercheurs séniors, publications, subventions, étudiants inscrits, réalisations antérieures, etc.), qui, présents et conjugués à la fois, aboutiraient normalement à une évaluation positive de "masse critique" et de "productivité", ne pousse pas pour autant le comité à sous-évaluer pour l'instant et l'intérêt et l'effort portés sur des objets "biotechnologiques" de recherche par cette université. L'examen qui suit des projets tentera d'évaluer sommairement la pertinence ou non des projets présentés, dans le cadre des facteurs de "masse critique" et de "productivité" nuancés par le contexte particulier de cette institution.

## 7.3 ANALYSE DU POTENTIEL DE RECHERCHE ET DE FORMATION EN BIOTECHNOLOGIE.

Un examen de productivité des équipes de recherche en regard du développement de la biotechnologie a précédé les commentaires que l'on retrouvera sous cette rubrique concernant les projets de recherche. En effet, le comité a gardé en mémoire, lors de cette analyse du potentiel de formation et de recherche en biotechnologie, un certain nombre de renseignements dénotant de la productivité, à savoir: les subventions de recherche des équipes alliées au nombre de publications en cinq ans, au nombre d'étudiants inscrits en 1982 et, s'il y a lieu, à celui des diplômés depuis cinq ans dans les disciplines concernées par les recherches et ce, en regard de la pertinence biotechnologique des activités de recherche présentées au comité. Ces considérations ont été enrichies, au besoin, de celle de l'incidence, sur le développement des projets, des collaborations entretenues avec d'autres institutions ou avec l'industrie.

Le tableau 12 relate les données factuelles dont nous disposions pour procéder à cet examen. Les titres des projets de recherche, donnée essentielle à notre analyse dont voici le résultat sommaire, seront cités par groupes départementaux et par institution.

### Université du Québec à Montréal

Sciences biologiques (9 unités/14 chercheurs)

1. "Mutagénèse in vitro chez Gerbera"
2. "Manipulation génétique chez le blé en utilisant la fusion des protoplastes".
3. "Ecologie des mutualismes légumineuses - Rhizobium: une approche douce" - "à biotechnologie."

La première recherche dont toutes les composantes n'ont pas été décrites ici (culture in vitro de quelques cultivars..., étude de l'organogénèse et de l'histogénèse..., traitements mutagènes..., sélection de cultivars stables et à propriétés horticoles intéressantes) est effectuée par un chercheur qui

TABLEAU 12

PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS, ETC.

| Constituante | Chercheur principal | No. total chercheur | Subventions 81-82 en $ | No. public. 5 ans | Moyenne public. 1 an | Collaborations extra-muros | Etudiants inscrits M.Sc. | Etudiants diplômés 5 ans/M.Sc. | Liens avec l'industrie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| U.Q.A.M. Biologie | Dubuc-Lebreux | 1 | 49,800 | 4/1 | 0,8 | Vieth & Neuman,U.de M. | 1 | 38 | - |
| | Fournier | 1 | 28,050 | 5/1 | 1,0 | (2 consultants,U.Q.A.M.) | 3 | | - |
| | Morin | 1 | 25,000 | 4/1 | 0,8 | Bisaillon, I.A.F. | 5 | | - |
| | Sarhan | 1 | 36,500 | 5/1 | 1,0 | (1 consultant,U.Q.A.M.) | 5 | | - |
| | Cheneval | 1 | - | 1/1 | 0,2 | (1 consultant,U.Q.A.M.) | 4 | | - |
| | Messing | 1 | 18,800 | 8/1 | 1,6 | Bradley, Inst. cancer | 2 | | - |
| | Tourneur | 4 | 69,900 | 23/4 | 1,2 | - | 8 | | - |
| | Reveret | 3 | 1,700 | 22/3 | 1,5 | - | - | | - |
| | Boucher | 1 | 42,479 | 12/1 | 2,4 | Quintana, Nicaragua | 2 | | - |
| Chimie | Jasuich | 1 | ND | - | - | Chris,I.N.R.S.-Eau,Env.Q. | 6 | 21 | Env. Qué. |
| | Denizeau | 2 | ND | 1/2 | 0,1 | Côté,U.de M., Env.Can., I.R.D.A. | 1 | | Env. Can. |
| | Total | 17 | 364,780 | | (M:1,1) | | 37 | 59 | |
| U.Q.T.R. Chimie/Biol. | Charpentier | 2 | 18,232 | ND | - | - | - | - | - |
| | Gicquaud | 1 | 40,029 | ND | - | - | 5 | - | - |
| Pâtes et papiers | Valade | 7 | 243,360 | 17/6 | 0,5 | - | 40 | 5 | Tutorat conjoint |
| | Total | | 301,605 | | 0,5 | | 45 | 5 | |
| U.Q.A.R. Sc. pures & appl. et G.E.R.M.E.[1] | Strachan | 3 | 10,000 | - | - | C.R.E.S.A.L.A. (I.A.F.) | - | - | - Coop. agric. du Bas St-Laurent<br>- Les fruits de mer de l'est du Qué. |
| | Rajotte[1] | 2 | 28,275 | - | - | U.Q.T.R. et U.de Sherb. | - | - | |
| | Total | 5 | 38,275 | - | - | | 0 | 0 | |

1: Groupe d'étude en régulation métabolique

TABLEAU 12 (suite)

| PRODUCTIVITE EN TERMES DE SUBVENTIONS, PUBLICATIONS, FORMATION ET COLLABORATIONS, ETC. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Constituante | Chercheur principal | No. total chercheur | Subventions 81-82 en $ | No. public. 5 ans | Moyenne public. 1 an | Collaborations extra-muros | Etudiants inscrits M.Sc. | Etudiants diplômés 5 ans/M.Sc. | Liens avec industrie |
| I.N.R.S. | | | | | | | | | |
| Océano. | Marsot | 1 | 66,225 | ND | - | I.A.F. | NP | NP | - |
| Energie | Dao | 2 | 14,630 | ND | - | - | ND | ND | - |
| Santé | Cooper | 1 | 11,000 | ND | - | - | NP | NP | - |
| " | Massé | 1 | 41,000 | ND | - | I.A.F. | NP | NP | - |
| " | Gauvreau | 1 | - | ND | - | - | NP | NP | - |
| Géores. | Héroux | 1 | 62,520 | ND | - | I.A.F. | NP | NP | - |
| " | Héroux | 1 | - | ND | - | U. Laval | NP | NP | - |
| | Total | 8 | 195,370 | - | - | | | | |

travaille en collaboration avec le laboratoire de culture de tissus de l'Institut botanique de Montréal et relève en partie de la recherche fondamentale - pour faire avancer les connaissances - et en partie de la recherche orientée vers des applications prévisibles. De par ses techniques d'approche et les micro-organismes utilisés, ce projet s'apparente en partie à la biotechnologie. L'étudiant inscrit dans ce programme mène une recherche tout à fait convergente au projet cité.

Le deuxième projet, centré sur l'hybridation somatique à partir de la fusion des protoplastes de différentes espèces végétales, en particulier les espèces d'importance économique comme le blé, s'inscrit dans les technologies de pointe en fusion cellulaire chez les végétaux. L'objectif non négligeable est d'arriver à l'amélioration de variétés de blé résistantes au froid. Cette étude, menée par un chercheur spécialisé en biochimie et en physiologie végétale, polarise les efforts de trois étudiants, adjoints de recherche et de cinq étudiants en rédaction - dont les sujets de mémoire sont convergents avec les objectifs du projet.

Le troisième projet, en écologie végétale - qui tente de modifier les facteurs environnementaux de plantes légumineuses d'importance agricole en rapport mutualistique avec les bactéries fixatrices d'azote plutôt que de modifier l'ADN des plantes pour obtenir une symbiose plante-bactérie - ne peut ni être considéré à proprement parler de la biotechnologie dans les définitions actuelles, ni présager l'obtention de résultats spectaculaires bien que les approches soient "modernes". Toutefois, il n'est pas interdit de penser que la modification de l'environnement comme mode d'interaction et de transformation désirables ne sera pas appelée à ouvrir un nouveau volet méthodologique et technique en biotechnologie que seul l'avenir peut confirmer. Par ailleurs, cette recherche étant menée conjointement avec un chercheur nicaraguayen, doit certainement représenter de l'intérêt pour la production paysanne du Tiers-Monde, objectif secondaire non dénué d'impact. Deux sujets de mémoires convergents sont menés à l'intérieur de ce programme de recherche.

4. "Revalorisation du purin de porc".
5. "Lutte biologique anticulicide utilisant les entomopathogènes Bacillus thuringensis var. viraelensis et Metharhizium anisopliae".
6. "Association de plantes et utilisation d'extraits de plantes dans la lutte contre les insectes".

Le projet 4 réalisé en collaboration avec l'I.A.F. et adjoignant deux étudiants, tente de valoriser certains déchets agricoles, en l'occurence le purin de porc, en identifiant les micro-organismes capables de métaboliser les composés (métabolites) responsables des odeurs. En termes d'applications envisagées, la recherche tentera de mettre au point un processus de désodorisation pour les entrepôts de purin hors-sol. Il s'agit là, aux yeux du comité, d'une recherche pertinente à la biotechnologie par ses techniques (fermentations) aussi bien que ses visées (biotraitement des pollutions), bien que cette approche ne s'attaque qu'à un aspect superficiel de la question (les odeurs) et ne solutionne pas les problèmes de fond. En plus des deux adjoints, quatre étudiants réalisent des mémoires dans le cadre de cette recherche.

Le cinquième projet, qui mobilise la plus grosse équipe, quatre chercheurs séniors et sept adjoints-étudiants, a pour objectif la lutte intégrée contre les culicides, à l'aide du B.T.i. déjà disponible industriellement, mais en visant une diminution de son impact négatif sur l'environnement, lors des traitements anti-culicidiens. Ce projet met d'ailleurs à profit l'expertise d'un écologiste, de deux entomologistes, d'un généticien et d'un spécialiste des fermentations. Huit étudiants (dont trois sont dans l'équipe d'adjoints) réalisent des mémoires dans ce contexte - tout à fait "biotechnologique".

Compte tenu du peu d'informations fournies, il y a peu à dire sur le 6e projet, si ce n'est une pertinence éventuelle à démontrer dans cette approche écologique apparentée au projet 3; il fait appel à deux écologistes et à un biochimiste et physiologiste des plantes... ce qui laisse supposer des approches et peut-être, des avenues nouvelles.

7. "Immunotoxicologie de l'environnement".
8. "Caractérisation des protéines qui fixent la vitamine B12 d'Euglena gracilis".
9. "Détection des dommages génétiques induits en milieu de travail par des agents chimiques ou physiques".

La première recherche (projet 7) est menée par un immunotoxicologue, assisté de trois étudiants et de deux consultants de l'U.Q.A.M. en toxicologie, pharmacologie et biochimie. L'intérêt de cette recherche à long terme est d'arriver à mettre au point des techniques de détection du niveau d'intoxication par des pesticides et des additifs alimentaires à l'aide d'anticorps monoclonaux. De caractère plutôt fondamental et en phase initiale de démarrage, ce projet pourrait s'avérer pertinent aux biotechnologies lorsque l'implantation intégrée en aura été assurée.

Il en va un peu de la même foulée dans le projet de caractérisation des protéines qui stabilisent la vitamine B12 où l'éventualité de la production de protéines stabilisatrices est encore lointaine. Toutefois, l'approche en génie génétique (hybridation et détermination de séquences d'ADN) rend cette recherche d'aspect plutôt fondamental pertinente et intéressante à observer dans son évolution, probablement à long terme. Quatre étudiants font leur recherche de 2e cycle sur ce sujet et le projet a recours à la collaboration technique d'un autre chercheur de l'U.Q.A.M., biochimiste et physiologiste des plantes.

Le 9e projet de biologie moléculaire s'inscrit dans une démarche scientifique de recherche fondamentale en génie génétique et culture cellulaire sur un sujet moderne et d'intérêt toujours grandissant: "Caractériser des mutations induites à un locus à l'aide d'une "sonde" d'ADN codant pour ce locus"et ce, auprès de travailleurs exposés aux agents génotoxiques*.

*: Cette recherche est subventionnée en 1983 par l'I.R.S.S.T. pour un montant de 75 000,00$.

Cette recherche d'importance est menée par une généticienne, assistée d'une adjointe, encadrant deux étudiants et recourant à la collaboration d'un excellent chercheur de l'Institut du cancer de Montréal.

Chimie et Centre de recherche en Sciences de l'environnement (2 unités/3 chercheurs)

10. "Récupération de l'énergie par les traitements aérobiques et thermophiles du lisier de porc".

11-A. "Développement d'un nouveau type de bioessai par l'emploi de cellules cultivées in vitro".

11-B. "Mise au point d'un modèle expérimental destiné à évaluer le potentiel cancérigène des matériaux fibreux.

Le projet 10, réalisé en collaboration avec un chercheur de l'I.N.R.S.-Eau et trois adjoints-étudiants, est apparamment commandité par le ministère de l'Environnement du Québec. Il s'agit d'un projet en phase de démarrage et pour lequel la rareté de l'information - sur l'approche technique notamment - empêche le comité de commenter plus avant.

Le projet 11-A, mené par un jeune chercheur assisté d'un adjoint s'affilie aux biotechnologies, du moins par l'utilisation de la culture de cellules, et vise la "mise au point d'un test biologique basé sur l'utilisation des cellules dérivées des gonades de la truite arc-en-ciel pour évaluer les effets toxiques des polluants aquatiques". Ce projet est vraisemblablement commandité par Environnement-Canada. Le même chercheur dirige l'autre recherche (11-B) avec la collaboration d'un neuroendocrinologiste de l'U.Q.A.M. et d'un chercheur de l'Université de Montréal. Le comité voit dans les incursions en toxicologie au moyen de cellules animales plûtot qu'avec les animaux eux-mêmes un avenir prometteur, d'une économie de moyens désirable. Ce projet, commandité par l'I.R.D.A., vise essentiellement à développer un modèle destiné à évaluer la cytotoxicité et le potentiel cancérigène des fibres d'asbeste... donc, dans le cadre des recherches actuelles et toujours nécessaires sur l'amiante. Un étudiant est encadré par cette équipe.

Commentaires

De l'ensemble de ces 11 unités de recherche dirigeant 12 projets, deux projets ont été estimés en biotechnologie de pointe, impliquant trois chercheurs (intra et extra-muros), un adjoint et 10 étudiants. Quatre autres projets sont tout à fait dans la filière biotechnologique et impliquent sept chercheurs, cinq collaborateurs de l'extérieur, sept adjoints-étudiants et 13 étudiants aux programmes. Trois projets ont été, pour l'instant, considérés de peu d'intérêt biotechnologique (6 chercheurs, 1 adjoint, 5 étudiants) tandis que trois autres projets présentent dans leur phase actuelle un intérêt biotechnologique partagé, partiel. Ils regroupent trois chercheurs, trois collaborateurs de l'extérieur et huit adjoints-étudiants.

On a vu d'autre part, au long de ces commentaires et à l'examen du tableau 12, que l'isolement de ces 13 chercheurs séniors - très souvent seuls à conduire leur recherche - les amène à s'adjoindre, d'une part, des collaborations d'étudiants gradués et d'autre part, des collaborateurs d'autres institutions qui apportent à ces jeunes chercheurs* une expérience et un savoir éprouvés - sans pour autant que doive être négligé l'encadrement de 37 étudiants (biologie, chimie et environnement). Il s'agit là d'une situation qui diffère un peu de ce qu'on a pu observer ailleurs et qui est probablement tributaire d'un certain nombre de facteurs: conditions historiques de l'implantation de l'U.Q.A.M., contraintes budgétaires, nouveauté du recrutement, absence d'équipement, etc.

La relative faiblesse de la moyenne annuelle de publications (1,1) et de subventions (24,3K) par chercheur complète un tableau où il ne reste plus qu'à encourager la poursuite des efforts dans la recherche de l'excellence, dans le maintien de collaborations extérieures stimulantes, dans la poursuite de recherches nouvelles et pertinentes et dans la formation en biosciences** et enfin, dans l'obtention de subventions plus substantielles.

---

*: Dont la moyenne d'âge est de 34 ans.
**: D'où sont sortis depuis 5 ans 59 diplômes au M.SC.

## L'Université du Québec à Trois-Rivières

Chimie/biologie (2 unités/3 chercheurs)

1. "Mise au point de moyens de lutte microbiologique contre les larves des mouches noires".
2. "Etude des mécanismes d'interactions entre les liposomes et les cellules hautement phagocytaires...".

Le premier projet est mené par un groupe de recherche sur les insectes piqueurs (2 professeurs, 2 étudiants) et vise à long terme le développement d'un nouvel insecticide. Il s'agit là d'une autre application du contrôle biologique qui s'inscrit dans les priorités de cette université.

Le 2e projet relève de la biologie cellulaire de pointe dans un projet d'aspect plutôt fondamental où les liens avec la filière biotechnologique s'identifient davantage par la technique d'approche (fusion cellulaire) que par la prévision d'applications éventuelles. Il est mené par un chercheur isolé, assisté de trois étudiants, dans le cadre des activités du groupe de recherche en motilité cellulaire.

Le comité possède toutefois peu de renseignements sur les publications de ces chercheurs, sur les collaborations extérieures instaurées, etc. sauf que le 2e projet est largement plus subventionné que le premier.

Pâtes et papiers (1 unité/3 chercheurs et 4 associés)

3. "Valorisation des branches de l'arbre. Papier biodégradable et non toxique. Modification de la lignine par greffage avec des polymères synthétiques. Utilisation des fibres de bois comme agents de renforcement et/ou de remplissage. Traitement biologique de la liqueur résiduaire au sulfite par le procédé de boues activées.

Production de nourriture pour animaux à partir de la liqueur résiduaire au bisulfite. Utilisation du feuillage de l'arbre pour la fabrication de panneaux et la production de nourriture animale".

Il s'agit là de l'ensemble des activités d'un groupe de recherche important (3 professeurs, 4 associés) sur les pâtes et papiers dont la pertinence s'inscrit totalement en biotechnologie. La production de nourriture animale sur une base sèche en est à sa phase de plan pilote (4Kg par jour de façon continue) et vise à moyen terme la transformation directe de résidus cellulosiques et ce, avec l'expertise soutenue de l'I.A.F.. Cette équipe d'ingénieurs (chimistes et forestiers) encadre par ailleurs 40 étudiants en maitrise des sciences des pâtes et papiers et compte cinq diplomés dans le même domaine; l'ensemble des préoccupations de recherche (thèses terminées et en cours, projets de développement) s'ordonne vers des objectifs convergents d'applications: le tutorat des étudiants à la maîtrise en sciences appliquées se faisant conjointement avec l'industrie incarnerait ici, croit le comité, une situation particulièrement adéquate au développement de la biotechnologie et à leur transfert à l'industrie. De bonnes subventions de recherche concourent aussi, dans ce cas-ci, à actionner un développement cohérent de projets utiles, sur le plan des ressources premières, de l'économie et de l'acquisition et de la transmission d'expertise.

Commentaires:

Les projets en biotechnologie de cette constituante n'ont ni la même envergure, ni la même maturité, ni le même impact prévisible en termes d'applications. Mis à part le Centre de recherche en pâtes et papiers où une équipe oeuvre depuis déjà cinq ans dans la direction des biomasses forestières et dont les activités sont des plus pertinentes, le comité observe que malgré des ressources humaines et financières très restreintes, une volonté de recherche renouvelée se manifeste.

## Université du Québec, à Rimouski

Sciences pures et appliquées (2 unités/5 chercheurs)

1. "Mise au point de techniques de transformation, de production et de contrôle de la qualité dans le domaine de l'agro-alimentaire: fromage, poissons, etc.".
2. "Etude des problèmes physiologiques découlant d'efforts intenses. Utilisation particulière de méthodes de culture primaire de cellules adénohypophysaires et ovariennes".

Ces deux projets, fort dissemblables, ont peu d'incidence en biotechnologie si ce n'est l'utilisation, dans le 2e projet, de la culture de cellules dans un contexte de recherche fondamentale en physiologie animale (laboratoire d'étude en régulation métabolique en collaboration avec un chercheur de l'Université de Sherbrooke). Ils sont tous deux en phase préliminaire d'implantation et il y aurait lieu de prévoir que la collaboration de la première équipe (3 chercheurs) avec le C.R.E.S.A.L.A. (I.A.F.) favorise son orientation soutenue de coopération avec l'industrie agricole locale et de développement vers des techniques de pointe.

## L'Institut national de recherche scientifique

Océanographie (1 unité/1 chercheur)

1. "Culture d'algues phytoplanctoniques".

L'objectif de cette recherche, réalisée en collaboration avec l'I.A.F. et avec le soutien d'un chercheur de l'I.N.R.S.-Santé, est d'isoler et d'identifier les composés majeurs biologiquement actifs hydrophiles et lipophiles et d'autres constituantes hydrophiliques des espèces d'algues marines cultivées et d'isoler, en outre, des substances anti-virales.

Eventuellement, cette recherche pourrait tenter de réaliser de la production industrielle de produits pharmaceutiques et/ou de la production d'algues unicellulaires servant de nourriture pour herbivores en élevage, tels les crustacés et les mollusques. Bien subventionné, ce projet de fermentations appliquées aux cellules végétales s'avère aussi pertinent à la biotechnologie et laisse entrevoir des possibilités d'applications en aquaculture, et des retombées en physiologie végétale (photosynthèse).

Energie (1 unité/1 chercheur)

2. "Conversion catalytique thermochimique de la biomasse en combustibles gazeux et liquides".

Ce projet est réalisé en collaboration avec deux chercheurs de l'I.N.R.S.-Santé et est par ailleurs peu subventionné. L'absence d'informations pertinentes sur les approches techniques - qui semblent davantage chimiques qu'autre chose - et les micro-organismes utilisés - s'il en est - rend difficiles l'identification de la filière biotechnologique de cette recherche et son appréciation en termes de réalisations éventuelles.

Santé (3 unités/3 chercheurs)

3. "Etude des substances potentiellement anti-bactériennes produites par le phytoplancton (nature ou cultivé)".
4. "Etudes sur la biodégradation bactérienne des biphényles polychlorés (BPC) des hydrocarbures polyaromatiques (HPA) et des amines aromatiques".
5. "Caractérisation des perturbations du métabolisme des substances lipidiques induite par les polluants organiques (BPC et HPA) de l'environnement par profilisation biomoléculaire". "Isolation et identification de composés endogènes résultant de la péroxydation des lipides". "Purification et caractérisation des corps amylacés obtenus de cerveaux humains âgés". "Etude de l'étiologie virale du vieillissement biologique".

Le chercheur du projet 3 est un des collaborateurs du premier projet identifié à l'I.N.R.S.-Océan. Il faut donc se référer à ce qui en a été dit plus haut. Des deux autres unités (4 et 5), l'attention "biotechnologique" est portée vers les recherches de techniques microbiologiques du chimiste qui conduit les recherches environnementales du projet cité en 4, et qui s'est adjoint la collaboration fructueuse d'un microbiologiste de l'I.A.F., comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent.

Géoressources (2 unités/1 chercheur)

6. "Récupération tertiaire du pétrole".
7. "Formation d'hydrocarbures synthétiques".

L'intérêt "biotechnologique" des activités de ce chercheur reste - compte tenu des informations fournies - centré sur celle du projet 6 dont l'objectif est de développer une ou des souches bactériennes capables de faciliter la récupération tertiaire des hydrocarbures. Eventuellement, la réalisation de ce projet pourrait présenter un intérêt - pas nécessairement spectaculaire à court terme - pour les populations albertaines quand l'extraction du pétrole pourra s'avérer plus ardue. Cette recherche est menée conjointement avec un bactériologiste de l'I.A.F. et bénéficie de subventions assez substantielles.

Commentaires:

De cet ensemble de projets, trois apparaissent appartenir aux filières de la biotechnologie, l'un en fermentations de biomasse végétale, le deuxième en chimie organique - microbiologie de l'environnement, et le dernier en sélection de souches dans le domaine de l'énergie. En dépit du fait que l'Institut ne reçoit pas d'étudiants en formation dans des disciplines qui sont reliées plus directement à la biotechnologie et qu'il ne peut, à ce titre, servir de point d'appui en développement de main-d'oeuvre spécialisée dans ces domaines d'expertise, le comité a cru bon tenir compte de cet inventaire des activités, d'une part parce qu'elles sont réalisées - dans les

cas qui concernent la biotechnologie - en collaboration avec des chercheurs de l'I.A.F. qui sont en contact avec des étudiants - du moins en tant que stagiaires -, d'autre part parce qu'elles font partie de la mosaïque des expertises développées au Québec en biotechnologie et qu'à ce titre, une vue d'ensemble était utile soit à l'interaction des chercheurs, soit à la planification avisée des ressources de formation, soit à l'identification des tendances de développement des filières et des techniques dans les universités québécoises.

## 7.4 CONCLUSION

Le cheminement un peu laborieux qui, constituante par constituante, a mené à l'établissement de ce commentaire final n'aura pas été vain. Il permet de constater que malgré le peu d'ancienneté de l'université du Québec, malgré un contexte vocationnel qui étale les ressources en recherche plus qu'il ne peut les consolider, malgré un contexte de développement académique - en termes de programmes institués - moins favorable qu'ailleurs au développement de la recherche avancée, malgré un développement disciplinaire en biosciences réduit et centré sur des préoccupations moins séduisantes et moins prestigieuses (que la médecine), malgré la jeunesse des équipes, leur isolement et leur petite taille, malgré des obligations d'encadrement au 1er cycle assez lourdes, - à l'exception de l'I.N.R.S. - il y a des activités de recherche en biotechnologie à cette université.

Toutefois, il est nécessaire de préciser qu'exception faite de l'équipe du Centre de recherche en pâtes et papiers, les équipes se caractérisent par des travaux en phase préliminaire - où les réalisations envisagées sont encore difficiles à articuler -, par des objectifs d'amélioration de l'environnement* presque généralisés, d'amélioration de la santé humaine et celle des végétaux (agriculture et horticulture) et la production d'énergie (biomasse, carburants, protéines), par le développement de techniques de culture et fusion cellulaires, de fermentations et d'associations, par un faible niveau de subventions et de publications et une carence de personnel de recherche et d'équipements qui, positivement, a développé un esprit "réseau" (collaborations institutionnelles) dont l'exemple n'est pas dénué d'intérêt et de bon sens dans la conjoncture actuelle.

*: Qui inclut très souvent l'agro-alimentaire, envisagé fréquemment de façon trop large dans les projets.

Ajoutons, par ailleurs, que l'envergure "horizontale" de cette université n'a pas favorisé la transmission de réponses exhaustives aux questions d'enquête du comité: l'absence fréquente de données n'a permis que l'établissement d'un profil partiel et parfois mitigé des ressources et des activités qui, en dépit de ces carences, ne correspond pas moins, aux yeux du comité, à des caractéristiques réelles et vraisemblables.

L'éventuelle mise en place de programmes spécifiques en biotechnologie comme des certificats aux 1er et 2ième cycles, par exemple - semble dans le contexte de développement de cette université un peu prématurée. Sans pour autant se substituer à un comité d'évaluation de programmes, il paraît sensé au comité de pouvoir légitimer une telle mise en place par des besoins du marché et de la clientèle et d'autre part, par une masse critique suffisante de chercheurs pour garantir la qualité de leur dispensation et de leur évolution. Or, il n'est pas encore évident que cette masse critique d'étudiants et de professeurs existe, que le développement actuel de l'agro-alimentaire le réclame et que l'avancement des recherches en ce domaine à cette institution peut, à elle seule, en stimuler l'essor.

Par contre, l'orientation délibérée de cette université vers les problèmes de l'environnement et de l'agro-alimentaire peut et doit y entraîner l'acquisition d'une expertise spécifique dans ces filières de la biotechnologie, expertise susceptible de motiver une recherche orientée plus consolidée et de bonne qualité, de fournir une formation "sensibilisée aux biotechnologies" et davantage multivalente aux étudiants de 1er cycle en biologie, en biochimie et en sciences de l'environnement, par exemple, et enfin, de fournir un terrain interdisciplinaire favorable aux travaux des étudiants gradués qui désirent oeuvrer dans une ou des biotechnologies.

Ceci implique la consolidation des activités dans un petit nombre de voies et non un étalement et une dispersion dans un grand nombre de projets non intégrés.

# APPENDICE A

## UNIVERSITE DU QUEBEC. AUTRES CONSTITUANTES

Cours des départements de sciences biologiques et de chimie de l'Université du Québec à Montréal traitant de certains aspects des biotechnologies.

. Baccalauréat en biologie

- deux options: Expérimentale et Ecologique
- cours communs aux deux options, exceptés trois exclusifs à l'option expérimentale (marqués d'un astérisque).

| | |
|---|---|
| - Biologie cellulaire | BIO 1010 |
| - Bioinstrumentation | BIO 2530 |
| - Microbiologie générale | BIO 3530 |
| - Génétique | BIO 4020 |
| - Virologie générale | BIO 4040 |
| - Etude expérimentale du métabolisme microbien | BIO 4530 |
| - Biochimie II | BIO 4560 |
| - Introduction à l'immunologie | BIO 5120 |
| - Méthodologie biochimique | * BIO 6031 |
| - Physiologie végétale | * BIO 6550 |
| - Biochimie de la croissance végétale | BIO 6650 |
| - Enzymologie appliquée | * CHI 3540 |

. Baccalauréat en biochimie

- comporte 11 cours, dont cinq généraux, quatre à orientation agro-alimentaire et deux concernant l'environnement.

| | |
|---|---|
| - Biologie cellulaire | BIO 1010 |
| - Microbiologie générale | BIO 3530 |
| - Biochimie 11 | BIO 4560 |
| - Physiologie végétale | BIO 6550 |
| - Production alimentaire | BIO 6660 |
| - Bio-essais des contaminants de l'environnement | CHI 2530 |
| - Biochimie des agresseurs toxiques | CHI 2560 |
| - Analyse alimentaire | CHI 2570 |
| - Biochimie de l'alimentation | CHI 3502 |
| - Enzymologie appliquée | CHI 3540 |
| - Aspects biochimiques de la nutrition humaine | CHI 3560 |

## APPENDICE B

### UNIVERSITE DU QUEBEC. AUTRES CONSTITUANTES.

Cours de premier cycle de l'Université du Québec à Trois-Rivières comportant des éléments importants de biotechnologie:

| | |
|---|---|
| - Microbiologie générale | MCB-1004 |
| - Complément de microbiologie expérimentale | MCB-1003 |
| - Microbiologie industrielle | MCB-1001 |
| - Microbiologie 1 | MCB-1005 |
| - Microbiologie expérimentale 1 | MCB-1002 |
| - Ecologie des insectes et problèmes de contrôle | ECL-1002 |
| - Génétique | GNT-1001 |
| - Biologie moléculaire | BIM-1002 |

## APPENDICE C

### UNIVERSITE DU QUEBEC. AUTRES CONSTITUANTES.

Cours de premier cycle de l'Université du Québec à Rimouski comportant des éléments spécifiques à la biotechnologie:

| | |
|---|---|
| - Biochimie dynamique | BIO-120-73 |
| - Physiologie cellulaire | BIO-310-80 |
| - Microbiologie | BIO-321-80 |
| - Génétique | BIO-322-80 |
| - Immunologie et virologie | BIO-331-76 |
| - Biochimie des macromolécules | BIO-432-80 |
| - Méthodes expérimentales en biologie | BIO-434-81 |
| - Microbiologie des milieux naturels | BIO-542-72 |
| - Chimie organique fondamentale | CHI-301-79 |
| - Chimie organique appliquée | CHI-303-79 |
| - Produits naturels | CHI-350-72 |
| - Analyse organique avancée | CHI-380-79 |
| - Pollution chimique | CHI-975-72 |
| - Chimie des aliments | CHI-980-72 |

# PARTIE III

## CONCLUSIONS

## RECOMMANDATIONS

# PARTIE III

## CONCLUSIONS DU COMITE ET RECOMMANDATIONS

### 1. LE TABLEAU D'ENSEMBLE

Nous venons de voir, en partie II, les activités universitaires que les établissements eux-mêmes relient à la biotechnologie. Ce tableau de la situation actuelle constitue la partie la plus importante du rapport au point de vue quantitatif. Il l'est également au point de vue qualitatif. Tant par les forces qu'il manifeste que par les carences qu'on y voit, c'est de cet ensemble qu'il faut partir dans toute entreprise de planification.

Nous avons vu en première partie que la biotechnologie est un secteur très vaste, impliquant plusieurs disciplines et couvrant tout le spectre des activités scientifiques, de la recherche fondamentale au transfert technologique et à la fabrication des produits, ou à l'utilisation des procédés au niveau de l'industrie et des services publics. La diversité des activités universitaires que nous venons de voir dans le secteur reflète bien les caractéristiques de la biotechnologie à cet égard.

Les retombées économiques de la biotechnologie seront manifestement importantes, mais l'évolution du secteur est liée de trop près aux découvertes scientifiques à venir d'une part et à l'évolution parallèle des autres technologies (et par conséquent au rapport coût/bénéfice de l'utilisation de chacune) pour que l'on puisse faire dès à présent des choix en biotechnologie parmi les disciplines, les techniques ou les filières d'application. Il faut donc asseoir la planification sur la consolidation des activités scientifiques dans les biosciences; il faut prévoir des activités et y préparer la main-d'oeuvre, dans l'ensemble du secteur, pour être prêt à être dans la course dès qu'un des domaines du secteur s'avérera mûr au point de vue scientifique, rentable au point de vue économique.

Le comité n'a pas la prétention de faire oeuvre originale avec un tel scénario de développement. C'est celui que l'on retrouve dans bon nombre d'autres rapports. Après avoir fait, lui aussi, le tour de la question, le comité estime pourtant que ce scénario est le plus prudent et le plus réaliste, si on veut que la biotechnologie tienne les promesses que l'on fait en son nom.

Cette conviction, le comité l'a acquise, comme le montre la partie I, suite aux réflexions qu'il a faites sur le sujet, et suite également à la lecture des nombreux rapports et prises de position publiés sur la biotechnologie.

Nous sommes également venus à cette conclusion, suite à l'analyse de la situation actuelle des activités universitaires dans le secteur, que nous avons réalisée à la partie II et dont le poids est important à cet égard, et suite aux échanges que nous avons eus avec les responsables des différents établissements lors de nos visites. Ce scénario, et les conséquences qu'il entraîne au niveau des programmes de formation et au niveau des programmes de recherche universitaire, est celui qui utilise au mieux les activités qui sont déjà en cours dans le réseau; il est d'ailleurs tout à fait cohérent avec les recommandations des rapports récents de l'O.C.D.E., par exemple, qui traitent du rôle spécifique de l'université dans le développement économique en général (comme on peut le voir dans l'annexe, rubrique 3.6).

Toutefois, même si ce scénario n'implique pas de bouleversements majeurs dans les structures universitaires, en termes de nouveaux programmes, nouveaux départements, etc, et ne requiert pas, bien au contraire, que l'université délaisse sa mission de recherche fondamentale, il n'en reste pas moins que le développement du secteur de la biotechnologie industrielle au Québec à partir des activités de recherche universitaire, exige la réalisation d'un certain nombre de conditions, mobilisation du réseau, consolidation de certaines activités, concertation

et collaboration, liens avec l'industrie; elle exige également un certain nombre de modification aux programmes de formation actuels. On pourrait schématiser, dans un premier temps, les grandes caractéristiques de la situation actuelle, tant au point de vue des forces que des faiblesses, de la façon suivante.

Dans l'actif, nous avons vu l'excellence de certaines équipes de recherche et la pertinence de leurs travaux à l'égard du secteur, la mobilisation de certains établissements où l'on voit même s'esquisser une programmation institutionnelle en biotechnologie; l'abondance de la clientèle étudiante dans certains programmes constitue aussi un atout.

Au passif, soulignons le sous-développement de certaines disciplines de base (dans plusieurs établissements, la présence des départements de sciences biologiques est paradoxalement faible), la faiblesse des subventions de recherche dans certains domaines, le dispersement souvent souligné des chercheurs et le manque de collaboration intra et interuniversitaire et enfin, le peu d'interaction université-industrie.

En terme de couverture des voies les plus prometteuses, on aura remarqué une présence prédominante dans la filière santé et l'absence quasi-totale d'activités dans certaines autres filières. Il existe donc des activités et des expertises, mais très inégalement réparties dans l'ensemble du secteur. Nous aurons à reprendre plus loin ces points en détail et à les insérer dans le cadre général de nos recommandations.

Nous aborderons cette démarche en établissant d'abord les caractéristiques générales que nous proposons pour les programmes de formation dans le secteur et les modifications qu'elles entraînent par rapport à la situation présente. Nous passerons ensuite à l'analyse de l'état actuel de la couverture du secteur des biotechnologies et de son évolution souhaitable.

## 2. LE CADRE DES PROGRAMMES

Pour y arriver, il faut garder à l'esprit les caractéristiques du secteur, telles que nous les avons vues en partie I. La biotechnologie ne constitue pas une discipline scientifique, non plus qu'un champ d'études identifié à une filière d'application spécifique. En fait, elle recouvre un ensemble d'activités scientifiques qui originent de la recherche effectuée dans un certain nombre de biosciences, dont les découvertes sur les mécanismes vitaux donnent naissance à des biotechnologies particulières qui sont ensuite, à l'aide des bioingéniéries, utilisées au plan industriel et à celui des services publics, à la solution des problèmes socio-économiques.

Il est bien évident que, compte tenu de l'ampleur du secteur, il n'est pas pensable de former des "biotechnologues" dont l'expertise s'étendrait à l'ensemble de la biotechnologie. Etant donné par ailleurs l'importance, pour que les activités débouchent sur le plan socio-économique, d'articuler fortement les trois volets du secteur, biosciences-biotechnologies-bioindustries, il ne serait pas judicieux d'identifier et surtout, de restreindre spécifiquement les programmes de formation à l'un des trois volets. Dans ce contexte, il serait encore moins utile, compte tenu des nombreuses interactions existant dans le secteur, de former un ensemble de spécialités cloisonnées à l'intérieur de chacun des trois volets.

La solution consiste à couvrir l'ensemble du secteur par des programmes de premier cycle des biosciences ou des bioingéniéries impliquées et de compléter la formation, pour les étudiants qui le désirent, par une spécialisation au niveau des études supérieures au sein d'une équipe de recherche oeuvrant dans l'un des domaines de la biotechnologie. Il ne s'agit donc pas de créer de nouveaux programmes, spécifiques à la biotechnologie, mais d'utiliser au mieux, parmi les programmes existants, ceux qui sont le plus près de la biotechnologie et de les modifier en conséquence.

RECOMMANDATION I

Nous recommandons que la main-d'oeuvre requise en biotchnologie soit formée dans le cadre des programmes existants,

- au premier cycle dans l'une des biosciences ou des bioingéniéries impliquées dans ce secteur, dont les principales sont: biochimie, microbiologie, biologie, chimie, génie (bio)chimique;
- cette formation initiale pouvant être complétée par une spécialisation au niveau des études supérieures au sein d'une équipe de recherche oeuvrant dans l'un des domaines de la biotechnologie.

Compte tenu par ailleurs qu'il est impossible de prévoir de façon spécifique quels seront les développements les plus intéressants au point de vue socio-économique en biotechnologie, ni en terme de disciplines, ni en terme de technologies, ni en terme de filières d'application, il faut planifier la formation de la main-d'oeuvre dans une optique de couverture au moins minimale, de l'ensemble du secteur.

RECOMMANDATION II

Nous recommandons que les universités prévoient la formation de spécialistes pour la biotechnologie dans la perspective d'une couverture de l'ensemble des voies les plus prometteuses identifiées par les chercheurs, qui soit aussi complète que le permettront l'augmentation des ressources et la rationalisation des activités existantes.

La main-d'oeuvre requise comprendra des praticiens pour l'industrie et pour les services publics et comme personnel de support pour les laboratoires de recherche. Elle comprendra également des chercheurs pour les laboratoires de recherche industriels, gouvernementaux et universitaires.

Les praticiens seront surtout titulaires d'un premier cycle, mais plusieurs auront une maîtrise et même un doctorat. Ils s'occuperont d'abord d'utilisation de techniques et de procédés, de production, d'analyse et de contrôle, mais également de développement et même de transfert technologique, adaptation et modification de procédés ou de techniques.

Les chercheurs auront comme fonctions de travail de faire progresser les connaissances fondamentales dans les directions les plus prometteuses au point de vue biotechnologie, d'opérer le transfert technologique des connaissances fondamentales vers leurs applications éventuelles, de mettre au point les procédés d'utilisation des nouvelles technologies.

Comme premiers cycles universitaires, aussi bien pour les futurs praticiens que pour les futurs chercheurs, nous distinguerons: les programmes en biosciences, les programmes en ingénierie, les programmes dans les secteurs d'application des biosciences.

## 3. LES PROGRAMMES DE PREMIER CYCLE EN BIOSCIENCES

Les programmes de premier cycle en biosciences sont nombreux au Québec, comme nous l'avons vu dans la partie II. Ils correspondent à une spécialisation ou à une concentration, orientation ou option, dans l'une des biosciences dont on juge qu'elles sont en amont de la biotechnologie: biochimie, microbiologie, chimie, ou encore à un programme général en sciences biologiques.

L'étudiant devra acquérir dans ces programmes une solide formation disciplinaire, première condition à remplir pour une préparation adéquate à oeuvrer en biotechnologie.

Certains cours de ces programmes de premier cycle ont été mentionnés par les universités comme étant plus particulièrement pertinents à la biotechnologie. Il s'agit soit de cours fondamentaux essentiels à l'un ou l'autre aspect de la biotechnologie, ou de cours décrivant plus particulièrement des techniques utilisées dans le secteur, c'est-à-dire des biotechnologies comme telles, génie génétique par exemple. Il va de soi que ces deux sortes de cours trouvent ici tout naturellement leur place.

RECOMMANDATION III

Que les universités s'assurent, par une révision, que les programmes impliqués comportent non seulement une solide formation disciplinaire mais également une ouverture et une sensibilisation à l'ensemble du secteur, à partir de la discipline de formation.

3.1 L'interdisciplinarité structurale

Toutefois, si l'on veut que ces programmes puissent déboucher sur la pratique de la biotechnologie de façon plus spécifique, l'interdisciplinarité du secteur doit se refléter de façon systématique dans les programmes eux-mêmes, étant donné, justement, l'interdisciplinarité des problèmes rencontrés en biotechnologie au niveau des biosciences elles-mêmes. Il y aurait donc lieu de s'assurer que ces programmes couvrent non seulement la bioscience à laquelle ils s'identifient, mais également les disciplines qui lui sont devenues connexes par l'évolution même de cette bioscience. Un programme de biochimie, pour être complet à ce titre même, doit comporter, en dehors de la biochimie, de la chimie et des sciences biologiques. Un programme de microbiologie doit non seulement déborder sur les autres sciences biologiques, mais également comporter de la biochimie et de la chimie.

C'est ce que le rapport Michaud sur l'interdisciplinarité, O.C.D.E. (1972)*, appelle l'interdisciplinarité structurale, p. 80, provenant "de la dynamique interne des disciplines et de la structure de la recherche", qui amène les disciplines, pour progresser, à se pencher sur des objets nouveaux et à côtoyer d'autres disciplines. Cet enrichissement continu des disciplines doit évidemment amener en rétroaction un enrichissement des programmes de premier cycle dans les directions de l'évolution de la discipline.

Il ne fait pas de doute que la formation de premier cycle, dans une bioscience donnée, exige actuellement non seulement une ouverture vers les biosciences voisines sur le plan des objets mais également vers les sciences physiques et vers les mathématiques. A un autre point de vue, l'informatique constitue une technologie de support de plus en plus importante, non seulement dans le progrès des connaissances mais dans les programmes de formation également. En outre, les programmes de premier cycle en biosciences devront dorénavant initier les étudiants aux possibilités des technologies analytiques mises au point depuis quelques

* G. Michaud et al., L'interdisciplinarité, problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités, O.C.D.E., Paris, 1972.

décennies, chromatographies, électrophorèse, traceurs radioactifs, voire spectrométrie de masse, résonnance magnétique nucléaire, microscopies de haute puissance, pour ne nommer que celles-là.

Cette ouverture de la formation autour de la discipline principale devrait être la règle pour tous les programmes de premier cycle. La biotechnologie ne se différencie pas des autres secteurs d'activité à cet égard; elle constitue cependant l'occasion de souligner fortement un besoin général. Les implications de cette interdisciplinarité, au niveau des programmes de formation, seront à réévaluer périodiquement.

RECOMMANDATION IV

Nous recommandons que, dans les programmes de premier cycle pour chacune des biosciences impliquées en biotechnologie, on réévalue l'ouverture des programmes vers les disciplines que les progrès récents des connaissances ont mises en rapport avec la discipline principale, de façon à assurer une formation la plus à jour possible et par là, la plus utile au plan même de la compétence scientifique.

## 3.2 L'interdisciplinarité commandée par la pratique professionnelle

Outre cette ouverture des programmes de formation de premier cycle autour de la discipline principale, qui est commandée par l'évolution même de la discipline, les programmes de formation de premier cycle devraient également comporter des éléments de sensibilisation aux applications industrielles et commerciales des biosciences. C'est, selon le rapport Michaud, l'interdisciplinarité restrictive, commandée par la pratique professionnelle. Encore ici, cette caractéristique devrait se retrouver dans tous les programmes de premier cycle en biosciences, mais la biotechnologie constitue un secteur d'activités pour le futur diplômé où

ce besoin est plus immédiatement apparent. En effet, si l'on réalise que, comme l'ingénierie ou la chimie l'ont fait depuis longtemps, les biosciences sont appelées à générer, de façon de plus en plus importante, des activités industrielles et commerciales, les programmes de formation doivent tenir compte de cette évolution et y préparer adéquatement les étudiants.

Dans le cadre même des cours de sciences fondamentales, il y aura donc lieu de faire état des découvertes qui ont donné naissance à des technologies nouvelles, non seulement au titre de progrès des connaissances mais aussi au titre du transfert technologique de ces connaissances, génie génétique, nouvelles utilisations des fermenteurs, sélection et culture des cellules, etc., et pousser l'étude des biosciences jusqu'à leurs utilisations industrielles et commerciales.

Outre cet effort d'opérer la jonction entre les sciences fondamentales et leurs applications, on parviendra à sensibiliser les étudiants aux applications de leur discipline en invitant des praticiens industriels à participer aux cours, où ils pourront parler applications, brevets, licences, importation et exportation de technologie, etc., de même qu'en incorporant des visites industrielles aux cours et en encourageant les étudiants à effectuer des stages d'été dans les bioindustries. Le système COOP, avec son alternance de formation université-industrie, irait évidemment dans le bon sens à cet égard, bien qu'il ne puisse vraisemblablement pas être généralisé à l'ensemble des universités.

RECOMMANDATION V

Nous recommandons que les programmes de premier cycle dans les biosciences impliquées en biotechnologie comportent des activités de sensibilisation des étudiants aux applications industrielles et commerciales de leur discipline, à l'intérieur même des cours de sciences fondamentales, ainsi qu'à l'occasion de contacts avec la bioindustrie.

## 3.3 L'ouverture à l'ingénierie

Dans le cadre des activités industrielles ou celles des services publics, le scientifique formé en biosciences viendra souvent en contact avec des ingénieurs. Il sera important en conséquence que sa formation l'ait initié à l'ingénierie, non pas pour en faire un ingénieur mais pour en faire un spécialiste des biosciences capable d'interagir utilement avec les ingénieurs, de comprendre leur langage et leur point de vue, et d'apporter sa contribution spécifique au bon fonctionnement des opérations.

Un cours d'initiation générale à l'ingénierie à l'intention des étudiants en biosciences se heurtera toujours à des difficultés provenant de la formation de ces étudiants en mathématiques et en sciences physiques. On sera toujours tenté de leur imposer les prérequis appliqués au futurs ingénieurs, de même que la rigueur mathématique habituelle aux écoles d'ingénierie: ce serait la meilleure façon de vouer ces cours à l'échec et d'apporter une mauvaise preuve à l'effet qu'ils ne peuvent exister à moins de comporter un nombre de crédits disproportionné à l'objectif visé. Bien qu'il s'agisse d'un défi de taille, le comité estime qu'il serait possible d'amener, en quelques crédits, des étudiants de biosciences à une connaissance de l'ingénierie telle qu'elle leur permette de dialoguer utilement avec les ingénieurs.

Nous estimons qu'il s'agit-là d'une entreprise très importante qui devrait faire l'objet d'une collaboration interuniversitaire et qui pourrait, par exemple, être réalisée dans le cadre d'une demande au Fonds de développement pédagogique du ministère de l'Education.

RECOMMANDATION VI

Nous recommandons que les programmes de premier cycle dans les biosciences impliquées en biotechnologie comportent un cours d'initiation à l'ingénierie, sans prérequis particulier en sciences physiques ou en mathématiques, et qui permette aux étudiants d'interagir ensuite utilement avec les ingénieurs.

## 4. LES PROGRAMMES DE PREMIER CYCLE EN INGENIERIE

En ingénierie, les programmes de premier cycle qui sont impliqués dans le secteur de la biotechnologie sont essentiellement les programmes de génie chimique ou génie biochimique. On s'assurera évidemment que ces programmes comportent une formation aux biotechnologies propres à l'ingénierie, génie des fermenteurs, génie enzymatique, purification et extraction, etc.

Au-delà de ces éléments qui font partie d'une solide formation en ingénierie, ces programmes doivent comporter, pour déboucher sur la pratique de la biotechnologie, une initiation générale aux biosciences, pour donner aux futurs ingénieurs une vue d'ensemble de la biologie moléculaire et cellulaire, ainsi que de la génétique et de la physiologie, et leur permettre par la suite d'interagir utilement avec les spécialistes des biosciences.

Les problèmes posés par la mise sur pied de tels cours sont probablement moins ardus que ceux posés par la création d'un cours d'ingénierie pour les étudiants en biosciences. Dans ce cas-ci, la difficulté résidera dans la sélection des éléments et leur synthèse que devra présenter le ou les cours en question. Il est bien évident qu'il ne suffirait pas, pour y parvenir, d'offrir à cette fin l'un ou l'autre des cours existants dans les programmes de sciences biologiques, qui ont d'autres objectifs et ne sauraient présenter la couverture voulue. On peut souligner au passage qu'un tel cours, très important pour les futurs ingénieurs qui voudront oeuvrer en biotechnologie, pourra également être fort utile à d'autres clientèles, physiciens se destinant à la biophysique, chimistes se destinant à la bio-organique, etc.

RECOMMANDATION VII

Nous recommandons que les programmes de premier cycle en ingénierie, génie chimique et biochimique et possiblement génie industriel, comportent un cours d'initiation générale aux biosciences, pour donner aux futurs ingénieurs une vue d'ensemble de la biologie moléculaire et cellulaire, ainsi que de la génétique et de la physiologie, et leur permettre par la suite d'interagir utilement avec les spécialistes des biosciences.

## 5. LES PROGRAMMES DE PREMIER CYCLE DANS LES SECTEURS D'APPLICATION DES BIOSCIENCES

On pense ici à des programmes de premier cycle dans les champs de la foresterie, de l'agronomie, de l'alimentation, de la médecine vétérinaire, de la pharmacie, de la médecine, pour ne nommer que ceux-là.

Bien que, conceptuellement, ces programmes puissent sembler beaucoup plus rapprochés que ceux des biosciences des différentes filières d'application de la biotechnologie, il faut réaliser que les assises fondamentales des biosciences qui y sont développées le sont essentiellement en fonction de leurs applications et de leur utilisation dans le cadre d'une pratique régie par une corporation professionnelle, et forcément tributaire d'une méthodologie propre à chacun de ces champs d'étude. Leurs objectifs sont beaucoup plus spécifiques et plus détaillés que ceux des biosciences: ils comportent non seulement l'acquisition de connaissances mais aussi l'apprentissage d'habiletés technologiques déterminées par le champ et les modalités de pratique. A la limite, on pourrait donc y développer davantage l'aptitude à identifier, pour un problème donné, la meilleure solution, dans l'arsenal des solutions déjà connues, plutôt que l'aptitude à l'innovation par les utilisations nouvelles des connaissances de base.

Il est toutefois clair pour le comité que l'identification de ces programmes aux filières d'application de la biotechnologie ne suffit pas à les rendre adéquats à la formation requise pour oeuvrer en biotechnologie. Bien que le comité n'ait pas procédé à une analyse individuelle de ces programmes, il n'en estime pas moins que les recommandations précédentes indiquent les conditions générales sous lesquelles ils pourraient servir de formation initiale orientant vers une carrière en biotechnologie: intensifier la formation dans les biosciences de base, et chercher à développer davantage chez les étudiants l'aptitude à l'innovation, en faisant plus le pont entre les sciences de base et leurs applications dans

l'industrie ou dans les services publics. Il est vrai que le "problem solving" doit occuper une place importante dans une carrière en biotechnologie mais il doit être associé étroitement à une solide formation disciplinaire scientifique qui amènera ainsi le futur spécialiste à chercher les solutions dans les nouvelles applications des connaissances fondamentales, la plupart des solutions en biotechnologie n'étant pas encore connues. A cet égard, la situation diffère beaucoup d'un programme de sciences appliquées à l'autre.

Par ailleurs, le comité est conscient que les changements d'orientation qu'il vient de proposer pourront être plus ou moins facilement conciliables avec les objectifs déjà lourds de formation professionnelle inhérents à ces programmes.

RECOMMANDATION VIII

Si les universités veulent présenter les programmes de 1er cycle dans les secteurs d'application des biosciences comme préparation possible à une carrière en biotechnologie, nous recommandons

- que l'on intensifie la formation en biosciences fondamentales et
- que l'on se fixe comme objectif de développer chez les étudiants l'aptitude à l'innovation en faisant davantage le pont entre la pratique professionnelle et les sciences de base qui trouvent leurs applications dans l'industrie et dans les services publics.

Les diverses recommandations que nous venons de faire à propos du premier cycle auèneraient des modifications dans les cours existants et la création de cours nouveaux qui pourraient se faire à l'intérieur des programmes actuels. Même ceux qui feraient carrière ailleurs que dans le secteur biotechnologie pourraient y trouver intérêt.

## 6. LES PROGRAMMES D'ETUDES SUPERIEURES

Pour plusieurs types de fonctions de travail dans le secteur de la biotechnologie, le candidat devra avoir poussé sa formation jusqu'à la maîtrise ou au doctorat (ou au post-doctoral). Au niveau des études supérieures, la spécialisation et l'approfondissement des connaissances s'obtiendront par des cours avancés, d'une part, et par une initiation à la recherche, d'autre part. Toutefois,

> RECOMMANDATION IX
>
> Compte tenu de la nature même du secteur, compte tenu de la difficulté de prévoir les créneaux où s'effectueront les développements les plus rapides et les plus utiles, compte tenu, par conséquent, de l'impossibilité de faire des prédictions spécifiques de débouchés, le comité croit qu'il est inopportun d'instaurer des programmes de maîtrise ou de doctorat identifiés à la biotechnologie ou a l'un ou l'autre de ses domaines et qu'il vaut mieux utiliser, en les modifiant en conséquence, les programmes existants impliqués dans le secteur.

### 6.1 Les cours avancés

Pour compléter ses connaissances et affiner ses habiletés expérimentales dans les développements les plus récents, l'étudiant compléterait l'acquis du 1er cycle par des cours qui porteraient aussi bien sur des aspects spécialisés d'une bioscience que sur des techniques avancées ou sur des applications particulièrement importantes. Ces trois types d'objectifs sont tout aussi importants les uns que les autres dans un secteur comme celui de la biotechnologie. La partie II fait état de plusieurs de ces cours avancés, déjà dispensés ou en projection. Mais cernons d'abord les caractéristiques générales de la formation souhaitée, tant par les cours, tout d'abord, que par la recherche, ensuite.

Dans l'ensemble du réseau universitaire, la proportion cours-recherche est très variable, selon les établissements et aussi selon les programmes. Certains doctorats comportent très peu de cours, voire pas du tout alors qu'à l'autre extrême, certains autres comportent un nombre important de crédits de cours, comme à Concordia, par exemple.

Au niveau de la maîtrise, le nombre de crédits de cours varie avec les objectifs des programmes qui offrent une grande diversité d'un programme à l'autre. Cette diversité, on la retrouve aussi au niveau du vocabulaire utilisé pour les décrire. Malgré sa richesse, ce vocabulaire ne parvient cependant pas à bien décrire la réalité. On qualifiera parfois de professionnelle une maîtrise faisant davantage usage des cours, bien qu'elle ne corresponde pas nécessairement à des fonctions de travail mieux définies qu'une maîtrise plus traditionnelle. Au total, l'éventail des types de maîtrise ira d'un programme constitué essentiellement de cours et d'activités similaires à un autre, où l'entièreté est constituée par le projet de recherche.

En biotechnologie, comme dans plusieurs autres secteurs, ni l'un ni l'autre de ces deux types extrêmes de maîtrise n'est satisfaisant: cours et recherche seront indispensables tous les deux. La biotechnologie est un secteur interdisciplinaire, s'alimentant aux recherches de pointe dans les biosciences et visant l'application de ces recherches dans un certain nombre de domaines. Dans la même optique que celle des recommandations faites au niveau du premier cycle, la maîtrise doit ouvrir la formation de l'étudiant vers les disciplines que les progrès récents des connaissances ont mises en rapport avec la discipline principale, elle doit sensibiliser l'étudiant aux applications industrielles et commerciales des biosciences en biotechnologie, et doit le familiariser avec le milieu dans lequel ces activités prendront place.

Pour y parvenir, on fera appel au moyen suivant: une programmation d'acquisition de connaissances et d'habiletés (cours, stages, recherche) dans laquelle on s'assurera que, dans un domaine d'application assez large de la biotechnologie, l'étudiant complète ses connaissances et ses habiletés dans les développements les plus récents, pratique des techniques de pointe ou travaille sur des applications importantes et enfin, puisse accéder aux enseignements et recherches des disciplines connexes ou complémentaires.

Ce genre de programme est actuellement possible mais, dans un secteur aussi interdisciplinaire, on s'attend à ce que l'étudiant traverse les cloisons départementales pour aller chercher ailleurs une formation complémentaire à celle qu'il reçoit déjà dans son département. Etant donné l'importance des recherches qui se font actuellement dans certains pays et, particulièrement, aux Etats-Unis où la plus grande partie de la recherche de pointe en biotechnologie s'effectue, et où des ententes originales universités/industries se sont conclues, il y aurait lieu que les étudiants puissent aller y puiser, en tout ou en partie, l'expertise recherchée. La même démarche se poursuivra au niveau du doctorat, par des cours encore plus avancés. En ce sens,

RECOMMANDATION X

Le comité recommande
- que les cours avancés en biotechnologie visent la spécialisation dans une des biosciences dans ses développements les plus récents et/ou portent sur des techniques de pointe et/ou sur des procédés d'applications particulièrement pertinents aux biotechnologies, et favorisent l'interdisciplinarité;

- que le choix des cours spécifiques à dispenser en biotechnologie, aux études avancées, se fasse en complémentarité d'une université à l'autre, afin d'atteindre le double objectif de rationalisation des ressources et de la couverture de secteur et
- que les départements concernés facilitent la circulation des étudiants d'un département à l'autre afin de leur permettre de s'alimenter aux recherches de pointe et de connaître différents domaines d'application.

Dans l'optique de la préparation à une carrière dans un environnement industriel et commercial, il serait même souhaitable que les établissements mettent à profit la présence d'experts, entre autres dans leur faculté de droit et de commerce, y adjoignent des spécialistes du milieu pour mettre au point un cours sur les aspects économiques, éthiques et juridiques de la pratique des biosciences, sur l'économie de la R. & D., les brevets, etc.

RECOMMANDATION XI

Le comité recommande que, puisqu'une sensibilisation aux milieux de R. & D. est nécessaire, des stages ou des cours par des spécialistes des problèmes de ce milieu soient organisés pour satisfaire cette dimension de la formation.

A côté des cours, une large place doit être faite à la recherche, au doctorat cela va sans dire mais également au niveau de la maîtrise. On peut même dire que la recherche sera, aux études supérieures, l'outil de formation privilégié pour une carrière en biotechnologie. En ce sens,

RECOMMANDATION XII

Le comité recommande qu'aux études avancées, la réalisation d'un projet de recherche soit l'outil privilégié de formation en biotechnologie.

## 6.2 La pertinence biotechnologique des travaux

Les travaux de recherche auxquels associer les étudiants, dans le cadre des études avancées, devront présenter de l'intérêt tout autant au point de vue du progrès des connaissances qu'au point de vue des retombées socio-économiques escomptées. Ces deux ordres de préoccupation sont essentiels; c'est en choisissant des sujets de recherche présentant de l'intérêt sur les deux plans que les équipes universitaires conserveront la spécificité de leur mission de recherche fondamentale tout en maximisant la probabilité de retombées intéressantes au point de vue socio-économique.

Il ne faut donc pas, comme le fait remarquer le rapport Delapalme, que les chercheurs universitaires se tournent vers la recherche appliquée à court terme, au détriment de la recherche fondamentale. Ni l'université, ni l'industrie n'en profiteraient, ni les étudiants, qui ne seraient pas, pour autant, mieux préparés à oeuvrer dans un secteur à aussi haute teneur scientifique que la biotechnologie!

> "Si la santé économique et le développement futur des sociétés industrialisées dépendent de leur aptitude à exploiter les possibilités que leur ouvre la recherche universitaire, c'est à condition que cette relation soit pensée dans une perspective à long terme. Le risque existe en effet qu'en concentrant l'effort scientifique sur des besoins à court terme et des "bénéfices" immédiats, on compromette l'édification et la préservation d'un potentiel scientifique de base vigoureux et équilibré, garantie à la fois de possibilités nouvelles d'application et de formation du personnel hautement qualifié nécessaire pour les exploiter."
> (Rapport Delapalme, p. 140)

Cette constatation, qui vaut pour toutes les technologies de pointe, le rapport "Tendances internationales et perspective en biotechnologie" l'applique à ce secteur en particulier (p. 135):

> "Le succès final de la biotechnologie dépend des progrès des sciences fondamentales qui la sous-tendent et de l'appui que lui apportent celles-ci. Si on emprunte des raccourcis, que l'on procède de manière empirique et que l'on accorde une attention superficielle aux principes scientifiques fondamentaux, il est probable que l'on aboutira au mieux à un rendement médiocre des procédés et au pire à des échecs coûteux."

Dans le choix des sujets de recherche à associer aux programmes d'études supérieures destinés aux étudiants qui veulent se spécialiser en biotechnologie, il faudra donc prendre en compte l'intérêt des retombées technologiques escomptées tant dans ses aspects positifs que négatifs. C'est l'évaluation technologique, telle qu'on la pratique depuis quelque temps déjà.

Par ailleurs, parallèlement à cette évaluation sociale et économique de l'innovation, il ne faut pas sous-estimer l'importance de son évaluation scientifique et technologique, comme le fait remarquer le rapport Delapalme (voir annexe, rubrique 3.6). Surtout dans un secteur à haute teneur scientifique comme la biotechnologie, le temps de réponse à un besoin est beaucoup plus souvent déterminé par l'état d'avancement de la science et de la technologie que par l'ampleur du besoin lui-même.

Et, effectivement, de nombreux rapports concluront que, pour faire progresser la biotechnologie, c'est d'abord tel ou tel domaine des biosciences qu'il faut faire progresser. "The Office of Technology Assessment" du Congrès des Etats-Unis dit que le principal obstacle au développement de la filière agriculture, ce sont les carences en biologie végétale, pour ne citer que cet exemple.

Les projets de recherche seront donc pertinents à la biotechnologie:
- s'ils sont orientés vers des applications relativement bien prévisibles,
- ou s'il contribuent à combler des lacunes au niveau fondamental qui constituent ou constitueront, à court terme, des contraintes au développement du secteur,
- ou encore, s'ils portent sur la mise au point ou l'amélioration des techniques scientifiques ou technologiques essentielles au secteur: génie génétique, fermentation, automation des procédés, etc.

RECOMMANDATION XIII

Nous recommandons que les projets de recherche universitaires en biotechnologie soient choisis aussi bien en fonction de l'intérêt qu'ils présentent au point de vue progrès des connaissances qu'au point de vue de leur pertinence à l'égard du secteur et de ses champs d'application.

La partie II du présent rapport montre à l'évidence qu'il existe dans le réseau universitaire québécois des activités qui remplissent les deux conditions de la recommandation XIII et que les trois types de pertinence y sont représentés. L'analyse qui y est faite à cet égard, projet par projet, montre aussi que certaines activités sont plus pertinentes que d'autres, comme il fallait s'y attendre. Lors de l'enquête, le comité n'avait pas voulu être directif et avait laissé aux établissements le soin de décider eux-mêmes du choix des activités jugées pertinentes à la biotechnologie. Par exemple, il est apparu au comité que la sélection de l'université de Montréal repose sur une définition de la biotechnologie plus restrictive et plus étroite que celle de la moyenne des autres établissements. Cette attitude du comité, corollaire de sa vision du secteur de la biotechnologie, a résulté en une certaine hétérogénéité dans l'ensemble de ce qui a été jugé et présenté comme pertinent par les établissements. L'éventail des activités prises en considération est donc très large et variable d'un établissement à l'autre, ce que le comité estime normal, étant donné la liberté d'interprétation laissée, compte tenu de l'imprévisibilité actuelle de l'évolution du secteur des biotechnologies.

Dans certains cas même, les travaux nous sont apparus fort éloignés de la biotechnologie, en tout état de cause. Ces cas ont cependant un poids statistique faible dans l'ensemble, de sorte que nous ferons porter la suite de l'analyse sur l'ensemble des travaux présentés, sans faire la discrimination qui, en plus de présenter la marge d'arbitraire que l'analyse sur dossier peut provoquer, n'aurait pas modifié de façon significative le tableau d'ensemble.

## 6.3 Les équipes interdisciplinaires

Pour former les spécialistes hautement qualifiés qui pourront être les artisans du développement du secteur, la formation par la recherche dans un sujet pertinent à la biotechnologie est nécessaire; elle n'est cependant pas suffisante. C'est à ce niveau, dans un secteur tel que celui de la biotechnologie, que la réalisation de l'interdisciplinarité

s'impose le plus. Les problèmes à résoudre y concernent presque invariablement plusieurs disciplines scientifiques et se posent toujours dans un contexte qui déborde largement le cadre disciplinaire. Comme le dit le rapport Michaud, p. 295, "l'interdisciplinarité est d'abord et essentiellement une catégorie scientifique, elle concerne avant tout la recherche". Cette affirmation générale s'applique on ne peut mieux à la biotechnologie, de même que le passage suivant du même rapport, p. 297:

> "... pratique individuelle, l'interdisciplinarité est aussi, et peut-être plus encore, une pratique collective. Il tombe sous le sens, qu'au niveau de la recherche, aucune confrontation solide entre les disciplines ne pourra se faire sans le concours actif de représentants hautement qualifiés de chacune d'elles. Encore faut-il que ceux-ci soient ouverts au dialogue, capables de reconnaître ce qui leur manque et ce qu'ils peuvent recevoir d'autrui. Cette ouverture ne s'acquiert qu'à la longue et dans le travail en équipe interdisciplinaire, qui devrait devenir la règle au niveau de l'initiation à la recherche."

Si l'on pense à couvrir les besoins de main-d'oeuvre dans un secteur aussi interdisciplinaire que la biotechnologie à l'aide de programmes disciplinaires, ce n'est évidemment qu'à la condition que ces programmes soient ouverts au secteur et aux autres disciplines impliquées, comme nous l'avons vu au premier cycle et débouchent, au niveau des études supérieures, sur l'initiation à la pratique de la recherche en équipe interdisciplinaire. En fait, "le besoin ressenti est celui de compétences spécifiques dans un contexte interdisciplinaire"* et non pas de généralistes en biotechnologie. La biotechnologie comme telle ne saurait donc constituer le principe intégrateur des travaux d'une équipe et des programmes de formation

---

* comme le font remarquer, p. 7, les experts de l'O.C.D.E. chargés d'étudier le rapport "Tendances internationales et perspective en biotechnologie"

auxquels elle est associée. L'objet serait beaucoup trop vaste. Le principe intégrateur devra être beaucoup plus défini. C'est d'ailleurs ce que l'on retrouve en pratique: les équipes se sont identifiées soit à une technique (génie génétique, par exemple), soit à une filière (foresterie, par exemple) soit à un aspect des biosciences (virologie moléculaire, etc.) soit à un aspect des bioingénieries (génie des procédés, par ex.).

En l'occurence, le comité estime, au terme de son analyse, que si l'élément-clé d'une formation débouchant sur le transfert technologique est l'initiation à la recherche en équipe interdisciplinaire, greffée sur une solide formation disciplinaire, le principe intégrateur doit être celui de la filière d'application. C'est donc sous cet aspect que, de façon prépondérante, nous examinerons les programmes de formation et les équipes de recherche qui leur sont associées.

Pour assurer la couverture des différentes filières d'application, il faudra donc qu'il existe au moins, dans le réseau des universités québécoises, une grande équipe interdisciplinaire de haut calibre scientifique, de l'ordre d'une dizaine de chercheurs seniors, orientée chacune vers une ou des filières dans lesquelles on pressent des retombées intéressantes. C'est là la couverture minimale. Dans le cas de certaines filières, trop hétérogènes au point de vue des biosciences, des biotechnologies et/ou des bioindustries impliquées et par là trop vastes (comme la santé), tout comme dans le cas de filières qui auraient reçu une priorité nationale considérable, il faudra même prévoir plus d'une équipe dans une même filière. Dans l'état actuel des choses, il sera souvent impossible de constituer de telles équipes; il faudra donc prévoir une planification à moyen terme, pour parvenir à la masse critique souhaitée.

Dans chaque cas, l'équipe devra se donner une programmation de recherche concertée, en vue de couvrir la filière en question; elle devra comprendre des spécialistes des biosciences et des bioingénieries qui, par l'apport de leur expertise propre, sont les plus susceptibles de développer les savoirs, les techniques et les procédés appropriés à cette filière et

établiront des liens avec les bioindustries impliquées. C'est l'état d'avancement des connaissances de base et de la technologie relatives à cette filière qui déterminera quels types de travaux de recherche y sont pertinents, comme nous l'avons vu en 6.2.

Dans ce contexte, les étudiants, inscrits dans les programmes cadre d'études supérieures existant dans les différentes facultés feront leur travail de recherche sous la direction d'un professeur, voire sous co-direction mais, de toute façon, au sein de l'équipe interdisciplinaire dont ils pourront également profiter au niveau des cours. Il est bien évident qu'un projet de recherche, dans le cadre d'un programme d'études supérieures, sera très spécialisé, par définition, et amènera l'étudiant à approfondir un problème particulier. Oeuvrant au sein d'une telle équipe, ils auront l'occasion d'entrer en contact non seulement avec leur directeur de recherche mais également avec les autres spécialistes de l'équipe, et l'avantage de replacer le problème qu'ils étudient dans un ensemble plus vaste, aussi bien au point de vue progrès de connaissances qu'au point de vue des besoins socio-économiques auxquels cette recherche peut répondre.

Les universités québécoises sont sensibilisées, depuis plusieurs années déjà, à l'importance du regroupement des chercheurs pour constituer un milieu propice à la recherche. Si une telle tendance est valable à l'intérieur d'une discipline donnée, il va sans dire qu'elle devient impérative quand on passe à un secteur interdisciplinaire comme la biotechnologie. Il va de soi que des chercheurs isolés peuvent générer des idées nouvelles, là n'est pas la question, mais aux yeux du comité, un ensemble de chercheurs complémentaires, en interactions, est beaucoup plus susceptible d'atteindre le niveau d'excellence sur le plan international et une grande productivité scientifique que des chercheurs isolés. Ces caractéristiques mêmes en feront un milieu de formation plus propice.

Une telle organisation des études supérieures n'est pas nouvelle. Elle se pratique déjà en biotechnologie, comme nous l'avons vu en partie II, comme elle se pratique aussi dans d'autres secteurs. Elle doit

évidemment s'appuyer sur des départements forts, d'où viendront les membres de l'équipe mais elle dépasse, au point de vue planification, le niveau départemental. Elle suppose une collaboration entre départements et entre facultés. En clair, la planification, tant dans la programmation de la recherche que dans l'engagement des professeurs, devra se faire au niveau de l'université. La distribution des équipes de recherche dans l'ensemble du réseau des universités nécessitera, en outre, une concertation inter-institutionnelle et même, une collaboration à cet égard, dans les cas où une équipe comprendrait des membres de plusieurs établissements. C'est là le seul moyen d'arriver à une couverture efficace du secteur de la biotechnologie dans un contexte de rationalisation et de contraintes des ressources et des fonds. Et même dans ce contexte, il faudra des injections de nouveaux professeurs dans les établissements, pour compléter l'éventail des expertises recherchées.

RECOMMANDATION XIV

Nous recommandons

- que, dans l'optique de la recommandation II, on crée ou on consolide, le cas échéant, dans le réseau des universités québécoises, au moins une grande équipe de recherche interdisciplinaire de haut calibre, dans chacune des filières d'application de la biotechnologie, voire davantage, dans le cas des filières très diversifiées et que, pour y parvenir, les universités mettent au point des mécanismes de coordination et de planification, tant à l'intérieur des établissements qu'au niveau interuniversitaire, et
- que l'injection de nouveaux professeurs vise la complémentarité des expertises recherchées dans ces équipes.

C'est dire qu'à l'intérieur même d'un établissement, selon la planification retenue, il faudra s'assurer que le corps professoral des départements couvre bien les biosciences au niveau fondamental et les bioingénieries requises, ou que l'on s'assure de collaborations de l'extérieur dans le cas contraire. Il faudra s'assurer également que l'ensemble des membres de l'équipe ainsi constituée ne présente pas de lacunes en fonction de la programmation de recherche, lacunes qu'il faudra combler le cas échéant par des réorientations, par l'utilisation de toutes les ressources disponibles, peu importe leur appartenance départementale, ou par l'engagement "interdépartemental" de professeurs.

La description de la situation actuelle à la partie II montre que, si de telles équipes existent dans certains cas, la situation générale en est une beaucoup plus souvent, de dispersion des ressources et de fragmentation disciplinaire. Ce morcellement, pourrait-on dire, est lié à la nature même du secteur et témoigne bien de son interdisciplinarité ainsi que du grand nombre de départements universitaires dans l'activité desquels la biotechnologie plonge ses racines. Il est aussi malheureusement lié à des facteurs complètement exogènes au secteur: sous-développement de nombreux domaines reliés au secteur, exigences d'engagement et de promotion des professeurs qui favorisent l'individualisme, cloisonnements facultaires et départementaux et même, dispersion de certaines disciplines dans plusieurs départements. Si l'on n'y prend garde, ces activités pourront rester éparses et isolées, ce qui les rendrait beaucoup moins productives autant sur le plan du progrès des connaissances que sur celui de leurs applications socio-économiques, tout comme lieu de formation pour la future main-d'oeuvre du secteur. On comprendra dès lors l'importance primordiale que le comité a accordé à la constitution d'un ensemble d'équipes interdisciplinaires pour couvrir les différentes filières d'application de la biotechnologie et pour constituer aussi le cadre principal de formation aux études supérieures des futurs spécialistes.

Plusieurs établissements ont d'ailleurs éprouvé le besoin, comme nous l'avons vu en partie II, de créer un comité de coordination, voire de planification, des activités en biotechnologie. Cet effort est à poursuivre, tant au plan des établissements qu'au plan interuniversitaire.

RECOMMANDATION XV

Nous recommandons que, à l'intérieur des programmes existants, ces équipes interdisciplinaires de recherche constituent le cadre principal de formation aux études supérieures pour les futurs spécialistes dans le secteur de la biotechnologie par l'initiation au travail de recherche dans un sujet pertinent à la filière d'application biotechnologique de l'équipe.

En marge du réseau de ces grandes équipes, on retrouvera évidemment aussi des équipes plus petites, voire des chercheurs individuels et il est normal et souhaitable qu'il en soit ainsi. On ne saurait tout planifier et tout organiser dans un secteur où il faut savoir ménager une place à l'imprévu et à l'inattendu surtout si, dans le voisinage, on dispose du potentiel nécessaire pour l'utiliser lorsqu'il se présente.

## 6.4 La formation continue

Si ces grandes équipes doivent constituer le lieu de formation initiale aux études avancées en biotechnologie, elles peuvent également constituer le lieu de recyclage et de formation permanente pour les praticiens ou les chercheurs qui voudraient parfaire leur formation. A la condition, évidemment, que cette activité ne prenne pas une ampleur telle qu'elle détourne l'équipe de son travail de recherche et de formation initiale. A ce titre, une formule est d'ailleurs prévue dans le programme d'intervention sous le nom d'"unités de formation technique et méthodologique", (U.F.T.M.); il faut aussi mentionner l'existence d'une autre formule, fort répandue aux Etats-Unis, celle des cours intensifs de perfectionnement. L'Université Concordia, notamment, y a souscrit et organise de telles sessions depuis 1978. Ces éléments de formation permanente complètent fort utilement le réseau des programmes de formation que nous venons de décrire.

## 7. L'ETAT DE DEVELOPPEMENT DES RECHERCHES UNIVERSITAIRES EN BIOTECHNOLOGIE ET LEUR EVOLUTION SOUHAITABLE

Le problème qui demeure est celui d'évaluer la couverture du secteur par les activités actuelles, de voir si elle est suffisante pour permettre de former les spécialistes dont nous aurons besoin en biotechnologie et enfin, de vérifier la représentation relative des différentes filières d'application dans cet ensemble, de même que les activités nécessaires pour les alimenter, compte tenu de l'interdépendance des trois volets, biosciences - biotechnologies - bioindustries.

De nombreux rapports nationaux sur la biotechnologie ont évidemment suivi la même démarche, tendant à identifier les points forts et les faiblesses de leur système de R. & D.. Parce qu'elle est moins incarnée dans un milieu en particulier, la démarche de l'O.C.D.E. est particulièrement éclairante à cet égard. Son comité d'experts proposera, en page 6 de son compte rendu, des priorités générales en R. & D. qui "traduisent des limitations et des contraintes des systèmes R. & D. presque partout" et qui sont:

- physiologie et génétique végétales,
- physiologie microbienne,
- étude d'organismes nouveaux et atypiques,
- génie biochimique.

Parallèlement à ces lacunes générales, il s'agit de déceler celles qui sont spécifiques au Québec. A cette fin, nous examinerons l'ensemble des activités présentées en partie II, d'abord du point de vue de la structure des équipes de recherche puis de celui des biosciences et des bioingénieries impliquées, ensuite, des techniques elles-mêmes et finalement, du point de vue des filières d'application dans les industries et dans les services publics, en fonction des réalisations envisagées.

## 7.1 La structure des équipes de recherche

Nous avons déjà beaucoup insisté, en 6.3, sur la nécessité du regroupement des chercheurs en équipes, d'une part, pour arriver à une masse critique et, d'autre part, pour couvrir l'ensemble des spécialités requises pour oeuvrer adéquatement dans chacune des différentes filières d'application d'un secteur aussi interdisciplinaire que la biotechnologie. Le comité sent donc le besoin de décrire ici l'ensemble des unités de recherche de tous les établissements en fonction de leur taille, i.e. du nombre de chercheurs qu'elles contiennent. Dans ce tableau I, nous avons fait abstraction des étudiants associés à ces équipes de recherche, de même que des assistants ou des techniciens.

TABLEAU I

NOMBRE DES ÉQUIPES DE RECHERCHE, POUR CHAQUE ÉTABLISSEMENT, EN FONCTION DE LA TAILLE DES ÉQUIPES.

| Nombre de chercheurs de l'unité | Montréal | Laval | Concordia | McGill | Sherbr. | IAF | UQAM | UQTR | UQAR | INRS | Ens. des univers. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 26 | 3 | 5 | 3 | 8 | 1 | 8 | 1 | - | 6 | 61 |
| 2 | 1 | 4 | - | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 14 |
| 3 | - | 2 | - | 2 | 3 | - | 1 | 1 | 1 | - | 10 |
| 4 | - | 5 | - | - | 2 | - | 1 | - | - | - | 8 |
| 5 | - | 2 | - | 3 | - | - | - | - | - | - | 5 |
| 6 | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 1 |
| 7 | - | 1 | - | 2 | 1 | - | - | - | - | - | 4 |
| 8 | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 1 |
| 9 | - | - | - | - | - | 2 | - | - | - | - | 2 |
| 10 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| 11 | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 1 |
| 12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13 | - | - | - | 1 | - | 1 | - | - | - | - | 2 |
| Somme des cherch. ment. | 28 | 64 | 5 | 61 | 38 | 51 | 17 | 6 | 5 | 8 | 283 |
| Nombre total de cherch. par établissement | 28 | 61 | 5 | 61 | 26 | 31 | 13 | 6 | 5 | 8 | 244 |

La ligne "somme des chercheurs mentionnés" présente dans certains cas des nombres supérieurs à la ligne "nombre total de chercheurs par établissement",: la raison en est simple, certains chercheurs font partie de plusieurs équipes de recherche. Le nombre total de chercheurs auquel on arrive est de 244 personnes.

Le "Programme d'intervention" rappelle (p. 9), que le M.E.S.T., en juin 1980, "n'identifie que 97 chercheurs à travers le Canada", alors que "l'inventaire conduit par le Secrétariat à la Science et à la Technologie depuis mars 1981 a montré que, dans le cas du Québec tout au moins, le document du M.E.S.T. a largement sous-estimé les effectifs et le nombre des activités de recherche en cours. (...) Au total, l'effectif québécois dans le domaine des biotechnologies s'élève à environ 120 chercheurs répartis de façon non homogène entre les différentes biotechnologies". Les documents que nous ont fournis les universités en comptent deux fois plus. C'est là le premier constat qui se dégage du tableau.

Outre le fait que ce total de 244 comporte une faible fraction de chercheurs qui ne touchent pas du tout, à notre avis, à la biotechnologie, outre également le fait que, depuis trois ans, il peut y avoir eu des réorientations parmi les chercheurs et enfin, outre le fait que certains chercheurs ont réalisé avec le temps que leurs travaux étaient pertinents à la biotechnologie (sans qu'ils s'en soient préoccupés jusque-là), il n'en reste pas moins que l'inventaire du S.S.T.* reposait sur le concept d'une pertinence biotechnologique beaucoup plus axée sur les techniques biotechnologiques - les biotechnologies - et leurs applications déjà connues que ne le faisait notre propre enquête, dont le caractère a été plus prospectif que restrictif.

Tous les chercheurs des différentes disciplines qui sont, <u>à des degrés divers</u>, impliqués en biotechnologie ont donc été comptés. Il ne s'agit évidemment pas de 244 personnes oeuvrant exclusivement et à plein

---

* comme le montre le paragraphe du haut de la p. 10 du programme d'intervention.

temps en biotechnologie et toute tentative de traduire ce nombre en chercheurs équivalents-plein-temps nous est rapidement apparue dénuée de sens, à cause de la nature même du secteur.

Une autre image qui se dégage de ce tableau est la disparité, d'un établissement à l'autre, dans la concentration des activités en équipes constituées et des variations importantes au niveau du leadership.

En effet, comme nous l'avons vu dans les analyses de la partie II, certaines équipes semblent avoir été constituées un peu artificiellement par les établissements comme c'est le cas à l'U. de S. et à l'I.A.F., alors que d'autres sont consolidées depuis un bon moment, ont une programmation de recherche intégrée et reçoivent déjà des subventions au titre même d'équipes, par exemple, certaines unités de McGill, de Laval, de l'I.A.F., etc. A l'autre extrême, l'individualisme des chercheurs (ou un style de présentation des unités par l'institution) aura accentué l'impression de fragmentation et aura peut-être masqué des collaborations qui existent comme pourraient en témoigner certains cas des universités de Montréal, Concordia, I.N.R.S., etc.

A ces nuances près cependant, il n'en reste pas moins que la recherche en équipes en biotechnologie est un phénomène qui ne prend actuellement une certaine ampleur qu'à Laval, McGill et à l'Institut Armand Frappier. Dans les autres établissements, la recherche en biotechnologie se fait par des chercheurs isolés ou en très petites équipes, ou se fera, espère-t-on, par de plus grandes équipes en phase d'organisation comme à Sherbrooke. Il y a place évidemment pour de telles activités en biotechnologie mais il ne serait pas avisé d'asseoir la formation des futurs spécialistes sur un ensemble de chercheurs isolés. C'est à cet égard que notre recommandation XIV prend tout son sens.

Dans la mise en oeuvre de la recommandation précitée, on pourrait craindre le danger de création d'équipes artificielles, sans unité réelle au point de vue programmation de recherche et sans véritables échanges entre chercheurs. Et, vraisemblablement, toute constitution d'une nouvelle

équipe passera par une telle phase au début. Selon les moyens mis en oeuvre cependant et selon la mobilisation du milieu, cette phase préliminaire pourra être dépassée et aboutir à la constitution d'équipes au sens fort du terme. Seul l'avenir pourra dire si les équipes récentes présentées en partie II suivront cette voie, mais elles témoignent dès à présent d'un effort de concertation et de planification.

## 7.2 Les biosciences

Pour étudier l'état de développement des biosciences au Québec, dont témoigne la partie II du présent rapport, le comité estime important de se replacer dans la perspective des études connexes qui ont déjà été effectuées. Parmi les travaux de l'Opération sciences fondamentales* (O.S.F.), ceux qui portaient sur le développement des sciences biologiques dans les universités du Québec s'avèrent ici particulièrement pertinents. Les biosciences que l'on associe à la biotechnologie ne sont pas toutes en sciences biologiques mais elles y sont centrales.

Dans un premier temps, l'O.S.F.* (p. 499 et ss), mettait en relief les interfaces entre les sciences biologiques et les nombreux secteurs d'application faisant appel aux sciences biologiques, santé d'une part, ressources renouvelables d'autre part, comme agriculture, alimentation, médecine vétérinaire, foresterie. L'O.S.F. notait alors que de nombreux domaines des sciences biologiques étaient progressivement passés dans le giron des champs d'études correspondant aux divers secteurs d'application, ou s'étaient tout simplement détachés de l'ensemble, au détriment du développement des sciences biologiques elles-mêmes et de sa cohérence, au détriment également de la contribution propre qu'elles ont à apporter au niveau fondamental comme au niveau appliqué. Le rapport conclut, p. 503:

> "Ainsi la situation d'ensemble en est une d'effritement progressif des sciences biologiques qui se replient sur elles-mêmes et se

---

* Opération sciences fondamentales, Ministère de l'Education, 1976

retranchent dans les quelques champs qui leur restent spécifiques. La biologie humaine est pratiquement toute en sciences de la santé, la biochimie s'inscrit comme discipline quasi-autonome, la microbiologie tend à se détacher, la biophysique affirme sa présence, la zoologie et la botanique appliquées appartiennent déjà aux ressources renouvelables, alors que le dossier de sous-secteur de l'O.S.F. en sciences biologiques fait état de pas moins de vingt-six orientations et profils dans les programmes de premier cycle.

Il y a là clairement une situation à réévaluer, d'autant plus que l'on peut s'interroger sur les ouvertures disponibles pour les abondantes clientèles actuellement en formation. Même si on ne peut pas renverser une évolution qui s'est faite progressivement et en réponse à des besoins, une nouvelle stratégie s'impose pour assurer le développement des sciences biologiques, fournir une contribution significative aux nombreuses interfaces et assurer aux futurs diplômés une solide formation de base qui leur donne accès à toutes ces voies possibles".

Pour corriger la situation, l'O.S.F. proposait cinq objectifs, p. 511:

"1. assurer le développement des sciences biologiques fondamentales dans une optique de concertation des efforts et des ressources;
2. favoriser les regroupements susceptibles d'assurer une contribution significative des sciences biologiques aux grands domaines d'activités;
3. identifier et développer les champs de spécialisation et les domaines d'application spécifiques aux sciences biologiques;
4. identifier les champs de spécialisation et les domaines d'application qui sont conjoints avec d'autres secteurs et les développer en collaboration avec ces derniers;
5. assurer une solide formation de base au premier cycle à tous les étudiants et y associer une bonne maîtrise des méthodes quantitatives".

Il s'agissait essentiellement pour les sciences biologiques de faire preuve d'autonomie et de dynamisme pour assurer une couverture adéquate de leur champ propre et assumer elles-mêmes la planification de leur développement, dans une perspective de collaboration avec les autres disciplines et champs d'études connexes.

Huit ans plus tard, il faut admettre que cette analyse et ces objectifs ont gardé toute leur pertinence. Le déplacement d'activités vers d'autres disciplines ou vers les champs d'études connexes s'est peut-être même accentué. Ce mouvement n'a rien de mauvais en soi. A cause des moyens mis en oeuvre, il a même permis de développer de façon importante certains domaines des sciences biologiques, certains même au niveau fondamental.

Par contre, à l'égard de l'ensemble des sciences biologiques, ce développement s'est fait de façon parcellaire, selon les objectifs propres des autres disciplines ou champs d'étude à l'intérieur desquels il se faisait, et n'a pas favorisé un développement cohérent et intégré de l'ensemble des sciences biologiques fondamentales et de leurs champs d'application spécifiques, non plus que de véritables collaborations des sciences biologiques avec les secteurs connexes.

Que l'on réalise par exemple que de nombreux enseignements de biologie fondamentale dans les départements de sciences biologiques sont assurés par les professeurs des facultés professionnelles oeuvrant dans les champs d'application biologiques. Que l'échange se fasse dans ce sens à l'occasion constitue une saine économie de moyens, si la faculté en question, compte tenu de ses activités professionnelles prioritaires, a pu quand même développer des activités fondamentales de qualité dans ce domaine. Par contre, si on généralise cette façon de faire, on appauvrit singulièrement les départements de sciences biologiques et on doit s'attendre à un développement des sciences biologiques fondamentales très variable d'un domaine à l'autre, déterminé parfois aussi par les grands courants de la recherche scientifique moderne, mais toujours par les besoins de formation professionnelle et les applications connues.

Encore une fois, pour reprendre les mots de l'O.S.F., il n'est pas question de "renverser une évolution qui s'est faite progressivement et en réponse à des besoins", mais on aurait pu espérer que, si on leur en donnait la possibilité, les départements de sciences biologiques puissent s'insérer activement dans cet ensemble complexe et jouer leur rôle dans la génération et la transmission des connaissances fondamentales, et jouer également leur rôle au niveau du transfert des connaissances en collaboration avec les unités oeuvrant dans les champs d'études correspondant aux grandes filières d'application des sciences biologiques.

Alors que le développement des autres sciences fondamentales ne tenait pas assez compte du transfert et des applications des connaissances scientifiques reconnaissait l'O.S.F., les sciences biologiques constituaient un cas à part, où le développement avait été trop exclusivement tributaire des applications et s'était largement fait en dehors des départements de sciences biologiques, sans que ces derniers jouent leur rôle d'intégration et de complémentarité pour harmoniser ce développement.

Au total, si on regarde aussi bien en sciences biologiques proprement dites que dans les secteurs professionnels où on en fait, on arrive à un tableau général présentant des pointes de développement relatif et des lacunes pour l'ensemble des sciences biologiques.

Sur une échelle relative, la microbiologie est un exemple de développement intéressant, aussi bien au niveau fondamental qu'au niveau appliqué. C'est évidemment la conséquence de l'intérêt que présente la microbiologie pour le secteur santé. Mais même dans ce cas, nous retrouvons la lacune généralisée soulignée par l'O.C.D.E. concernant la physiologie microbienne.

A l'autre extrême, la biologie végétale, si elle a connu et connaît toujours des développements certains concernant la systématique et l'écologie végétale, elle est par contre un exemple de sous-développement

marqué dans les aspects afférents à la physiologie et à la génétique. Certains aspects en ont été développés dans une perspective d'application en foresterie, en agriculture, etc, mais de façon forcément fragmentaire et dans l'optique méthodologique de ces champs d'études. Au total, les assises fondamentales de la biologie végétale sont nettement déficientes au Québec. Encore ici, nous retrouvons des lacunes déjà soulignées par l'O.C.D.E., mais cette fois à un degré probablement encore plus marqué.

En 1974, le "Dossier du sous-secteur sciences biologiques de l'O.S.F. insistait sur ce sous-développement et ses conséquences, autant dans les programmes de premier cycle (cf. p. 74), que dans les études avancées et la recherche, (cf. p. 184). L'auteur ajoutait: "Nous croyons que, pour les besoins du Québec, il est impérieux de combler ce déficit". Si un tel énoncé était pertinent en 1974, alors que les biosciences étaient loin d'être un enjeu politique, qu'en dire maintenant?

Dans la même veine, la mycologie et la phycologie mériteraient aussi de recevoir plus d'attention. Ces disciplines sont également fragmentées par les champs d'applications, mais aussi entre les programmes. Ces organismes ont leur physiologie et leur génétique propres, et ils sont susceptibles d'un grand nombre d'applications biotechnologiques.

Dans l'éventail des biosciences dont on escompte des retombées biotechnologiques, il faut évidemment compter, en dehors de nombreux domaines des sciences biologiques comme telles, la biochimie et une partie de la chimie. C'est donc dans un ensemble assez vaste qu'il faut que le Québec s'assure une présence en recherche dans les directions les plus riches des développements récents, au point de vue fondamental, directions qui ne sont pas systématiquement les plus près des applications immédiates mais qui font partie de l'ensemble des activités auxquelles il faut donner priorité si on veut que présente quelque chance de succès le développement de la recherche en biotechnologies au Québec.

L'état de sous-développement de certains départements de sciences biologiques laisse entrevoir que, dans certains cas, la planification que nous avons recommandée en 6.3 sera difficile à réaliser et qu'il faudra d'abord revitaliser certains départements, réunifier leurs activités, redéfinir leur champ d'activité particulièrement face à celui des facultés professionnelles et attirer de nouvelles clientèles au niveau des études avancées. Le problème n'est pas nouveau, comme nous l'avons vu, mais l'intérêt manifesté présentement pour la biotechnologie, qui à n'en pas douter sera durable, est une occasion supplémentaire à saisir pour le résoudre.

Le tableau 2 sur la production annuelle de diplômés de 2e et 3e cycles, en sciences biologiques particulièrement est éloquent à cet égard, ne fut-ce que sur la faiblesse de la production de diplômés aux études avancées au Québec, dans les université francophones. Il est possible que depuis le date de ce relevé (1979), les choses aient évolué positivement: nous le présentons malgré tout en espérant que cette tendance ne se soit pas accusée depuis.

TABLEAU 2

PRODUCTION ANNUELLE MOYENNE DE DIPLÔMES DE 2e ET 3e CYCLES PAR 100 000 HABITANTS AU COURS DE LA PÉRIODE 1972-1979 (*)

| | | Sciences biologiques | | Sciences appliquées | | Sc. phys. & mathématiques | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | M.Sc. | Ph.D. | M.Sc. | Ph.D. | M.Sc. | Ph.D. | M.Sc. | Ph.D. |
| Provinces de l'Atlantique | | 1,75 | 0,58 | 2,54 | 0,38 | 3,09 | 1,35 | 7,38 | 2,31 |
| Québec | Univ. francophones | 0,81 | 0,20 | 2,81 | 0,40 | 2,32 | 0,75 | 5,94 | 1,35 |
| | Univ. anglophones | 3,41 | 1,70 | 8,13 | 2,34 | 6,65 | 2,84 | 18,19 | 6,88 |
| | Total | 1,32 | 0,50 | 3,88 | 0,75 | 3,19 | 1,19 | 8,39 | 2,44 |
| Ontario | | 1,83 | 0,81 | 6,62 | 1,60 | 5,03 | 2,58 | 13,48 | 4,99 |
| Provinces de l'Ouest | | 1,98 | 1,10 | 3,38 | 0,95 | 3,23 | 1,93 | 8,59 | 3,98 |
| Canada | | 1,74 | 0,76 | 4,59 | 1,08 | 3,82 | 1,89 | 10,15 | 3,73 |

* Populations étudiantes: diplômes décernés par les universités québécoises et canadiennes, Secrétariat à la science et à la technologie, sept. 82, reproduit dans Rapport du Comité de la recherche industrielle et de l'innovation, CPSQ, mars 83, p. 27.

Cette carence en sciences biologiques ne peut que desservir l'évolution souhaitée de la biotechnologie. Le peu d'étudiant québécois s'inscrivant aux études avancées en sciences biologiques est un facteur majeur pouvant freiner le développement de la biotechnologies.

RECOMMANDATION XVI

Nous recommandons, dans le cadre de la recommandation XIV,

- que les universités redéfinissent leurs activités de recherche dans les biosciences pertinentes à la biotechnologies,
- s'assurent que les aspects fondamentaux des sciences biologiques pertinentes à la biotechnologie y soient bien développés, particulièrement en physiologie et génétique végétales et en physiologie microbienne, qui sont encore plus sous-développées au Québec qu'ailleurs, quitte à réunir les départements d'une même discipline en une seule entité à plusieurs vocations,
- qu'elles consolident les activités dans l'ensemble des biosciences impliquées.

## 7.3 Les bioingénieries

Encore ici, il est utile, avant d'étudier la situation au Québec, d'examiner celle qui prévaut généralement ailleurs. Selon le rapport de l'O.C.D.E., l'accent mis sur les biosciences ne doit pas minimiser l'apport des bioingénieries. Traitant de ce sujet, les auteurs du rapport de l'O.C.D.E. éprouvent le besoin de faire la mise au point suivante, p. 25:

"Les découvertes biologiques, notamment dans le domaine du génie génétique, qui ont ouvert de nouveaux horizons à la biotechnologie, ont à juste titre retenu une grande attention. Malheureusement, la grande importance accordée aux aspects biologiques a donné une vision déformée de la biotechnologie, et il convient d'insister sur le fait évident que si les innovations biologiques ne peuvent pas se traduire par des applications pratiques, elles ne présentent guère d'intérêt pour la société".

Ils ajoutent ensuite:

"Malgré son apport essentiel à la biotechnologie, l'ingénierie a moins retenu l'attention que les sciences biologiques. Il y a plusieurs raisons à cela: 1) si on les compare aux progrès rapides accomplis par les manipulations génétiques et par d'autres domaines pertinents de la biologie, les progrès de l'ingénierie sont inévitablement beaucoup plus lents; 2) la recherche et le développement en matière d'ingénierie sont très coûteux dans le cas des matières et des systèmes biologiques, et il est souvent nécessaire de produire de grandes quantités de matières pour vérifier le fonctionnement d'une opération élémentaire déterminée. Fréquemment dans le passé, l'industrie n'a pas effectué d'étude détaillée de génie biochimique mais a adopté une démarche assez empirique; 3) les grandes percées techniques ne sont pas fréquentes. En ingénierie, il y a peu d'opérations qui ne puissent pas être réalisées d'une manière ou d'une autre, ce qui signifie qu'il n'y a pas de contraintes absolues. Des améliorations de fonctionnement ou des réductions de coûts peuvent toutefois modifier fortement les caractéristiques économiques du procédé. Les ingénieurs ont réussi

dans une mesure appréciable à mettre au point des procédés biologiques économiques, malgré de nombreux problèmes. Les progrès futurs de l'ingénierie auront des répercussions importantes sur les procédés de traitement biologique. Nous évoquons dans les sections qui suivent certains domaines dans lesquels des progrès sont attendus ou dans lesquels les travaux de recherche et de développement doivent se poursuivre".

Suit alors l'énumération des domaines de R. & D. en ingénierie qui semblent les plus importants en rapport avec la biotechnologie et qui, à ce titre, devraient faire partie de la formation des ingénieurs appelés à travailler en biotechnologie:

- travail dans des conditions d'asepsie, problèmes de stérilisation des fermenteurs, surtout en fonctionnement continu;
- génie des fermenteurs, problèmes de circulation avec ou sans agitation, de transfert d'oxygène ou de développement de procédés anaérobies;
- réacteurs à catalyseur biologique immobilisé, fixation du catalyseur, sous forme de lit fixe ou de lit fluidisé, systèmes à plusieurs phases liquides;
- récupération du produit, séparation, extraction, purification, récupération extracellulaire ou intracellulaire, séparation liquide-liquide, utilisation des membranes;
- appareillage et contrôle du procédé, utilisation de l'informatique pour commander, surveiller, enregistrer les données, et même guider la fermentation en cours de route, modélisation mathématique des procédés.

Ces domaines d'investigation en biotechnologie reviennent de façon plus ou moins détaillée dans plusieurs autres documents sur la question. Sous le nom de "Process Technology", le rapport hollandais Apeldoorn replace tout d'abord les bioingénieries en perspective dans l'ensemble du secteur et indique leur spécificité, p. 63:

"Process technology is, in fact, a back-up discipline rather than a subordinate discipline such as microbiology or biochemistry. This

means that development in this field have not so much provided new stimuli for biotechnology but, when judiciously applied in biotechnological processes, have helped such processes to develop fruitfully. On the international scale, a sequence can be perceived whereby developments in microbiology, molecular biology, and biochemistry stimulate new activities in biotechnology which in turn often lead to the corresponding development work in process technology. The fact that process technology is a very important sub-discipline is starting to be appreciated in a wide range of countries".

On comprend, suite à ces remarques, que les domaines généralement retenus comme prioritaires en bioingénieries seront moins prospectifs que dans les biosciences et plus près de la biotechnologie telle qu'elle existe présentement, avec une prépondérance des micro-organismes et des fermentations.

Ces fonctions de soutien sont cependant essentielles à l'expansion des biotechnologies au Québec et des équipes spécialisées travaillent actuellement sur le développement d'un certain nombre de procédés d'ingénierie, que ce soit à Polytechnique, à l'université Laval, à McGill, à Sherbrooke, mais de façon ténue quelquefois, sans les équipements permettant de pousser la production très loin, et sans subventions spectaculaires (à l'exception de l'équipe de McGill). Le comité croit qu'il est utile d'attirer l'attention sur les conséquences que pourrait avoir un manque d'intérêt à soutenir ces travaux.

RECOMMANDATION XVII

Le comité propose donc que les universités redéfinissent leurs priorités de recherche dans les bioingénieries pertinentes aux biotechnologies, les assurent du soutien de l'université dans leur développement et enfin, qu'elles y consolident les équipes et les activités.

## 7.4 Les biotechnologies

En fait les priorités de R. & D. en bioingénierie que proposent les grands rapports sur la biotechnologie se rapportent essentiellement à un certain nombre de technologies particulières utilisées dans le secteur, ce que nous avons appelé "les biotechnologies". Elles pourraient être classées sous les quatre spécialités suivantes de l'ingénierie, sans que les frontières entre elles soient très étanches:

- génie des fermentations,
- génie enzymatique,
- génie des extractions et des purifications,
- génie biochimique.

Elles présentent la caractéristique de comporter non seulement des aspects de bioingénierie mais également, des aspects de biosciences.

A égale caractéristique, il existe d'autres techniques biotechnologiques: leur relevé dans notre grille d'enquête donnait le résultat suivant:

- génie génétique
- systèmes enzymatiques
- technologies des fermentations
- génie biochimique
- procédés d'extraction et de purification
- sélection des souches
- culture des cellules
- fusion des cellules.

Pour le comité, c'est de cet ensemble de techniques dont il faut s'assurer la couverture dans le réseau universitaire québécois. Précisons tout de suite que ces technologies sont considérées par le comité les plus spécifiques au secteur et que, dans la réalité, les chercheurs feront aussi appel à tout l'arsenal des techniques propres aux disciplines impliquées.

L'analyse de la partie II montre que les techniques retenues par le comité sont toutes mises à profit dans les recherches universitaires québécoises. Elles ne sont pas toutes également utilisées et développées cependant. Une analyse de fréquence de mention des différentes biotechnologies est toutefois très délicate à faire, la même équipe ayant énuméré, sans les pondérer, les différentes techniques qu'elle utilise. Cette réserve étant gardée à l'esprit, on obtient pour l'ensemble des activités du réseau des universités québécoises les fréquences de mentions présentées au tableau 3 dans lequel chacune des mentions est multipliée par le nombre de chercheurs de l'équipe, ce que nous appellerons une fréquence pondérée.

Nous utiliserons souvent par la suite cette fréquence pondérée comme indice de distribution des effectifs. Si chaque équipe n'avait mentionné qu'une technique, les fréquences pondérées correspondraient aux nombres de chercheurs impliqués dans une technique. Si, comme c'est le cas ici, les équipes indiquent plusieurs techniques, les fréquences pondérées seraient proportionnelles aux effectifs, si la distribution ne présente pas de biais.

De tels biais, plus ou moins importants, vont cependant se produire. Par exemple, l'importance relative de l'utilisation des différentes techniques en introduit un dans les données du tableau 3; bien qu'il eût été possible dans certains cas de discriminer de façon évidente, parmi les techniques mentionnées par une équipe, celles qui sont utilisées de façon importante de celles qui sont utilisées de façon plus marginale, il ne nous a pas semblé possible de le faire de façon systématique sans tomber dans

l'arbitraire. Dans l'état actuel de nos informations, nous considérons les données de ce tableau aussi représentatives que possible de la distribution des effectifs dans les différentes techniques, à une seule réserve près.

TABLEAU 3

| FREQUENCES PONDEREES DES MENTIONS DE TECHNIQUES | |
|---|---|
| culture des cellules | 155 |
| génie génétique | 106 |
| systèmes enzymatiques | 99 |
| fusion des cellules | 98 |
| technologie des fermentations | 73 |
| procédés d'extraction et de purification | 69 |
| sélection de souches | 60 |
| génie biochimique | 32 |
| total des fréquences pondérées | 692 |

En effet, spécialement pour les systèmes enzymatiques et pour les technologies des fermentations, qui semblent être passablement utilisés par les chercheurs et où, par conséquent, une expertise importante semble exister, le cumul des mentions tient autant compte des aspects ingénierie que des aspects biosciences de l'utilisation de ces techniques, c'est-à-dire une mention fermentation peut provenir autant d'une équipe utilisant cette technique de façon marginale dans des recherches très fondamentales, par ailleurs fort pertinentes à la biotechnologie, que d'une équipe d'ingénierie dont les travaux sont axés sur cette technologie en soi.

Ce qui amène le comité à la conclusion que, dans l'optique du transfert vers l'industrie, les technologies d'ingénierie en soi, relatives aux biotechnologies, doivent recevoir au Québec davantage d'attention qu'elles n'en reçoivent présentement et, somme toute, que les priorités de R. & D. en bioingénierie, retenues par l'O.C.D.E., doivent aussi être exploitées au Québec. Le problème déborde évidemment le cadre des programmes de formation et pose toute la question de l'infra-structure bioindustrielle. Par exemple, la fermentation protégée, à grand volume, orientée vers la chimie fine, est une technologie qui est pratiquement inexistante au Québec mais dont l'utilisation posera d'importants problèmes de bioingénierie. Comment former la main-d'oeuvre, puisqu'il n'y a pas d'activités dans ce domaine?

Le problème avait d'ailleurs été pressenti par "le programme d'intervention" (cf. p. 46), qui annonçait alors la mise sur pied d'une mission ad hoc sur la technologie des fermentations. Le rapport de cette mission et les suites qu'on lui donnera apporteront des éléments de réponse à cette question.

Cette interdépendance entre la formation de main-d'oeuvre et le développement du secteur montre à quel point il y aura lieu de revoir périodiquement l'état de la question aux deux égards.

De toutes façons, tel que spécifié déjà, il n'est pas apparu souhaitable au comité de centrer les programmes de formation sur des techniques particulières; ces dernières feront partie des programmes d'enseignement et de recherche reliés à la formation, et leur développement sera essentiellement fonction de leur utilisation dans les équipes de recherche oeuvrant dans les différentes filières d'application de la biotechnologie, et fonction aussi du degré de développement de ces filières au Québec.

Il est essentiel, néanmoins, qu'il existe, dans le réseau, une équipe où l'on développe l'expertise et la recherche de pointe dans chacune des

biotechnologies. C'est là une opération ponctuelle, annoncée dans "Le programme d'intervention pour le développement de la recherche en biotechnologies au Québec", p. 25:

> "On mettra en place un dispositif léger chargé d'assurer par des stages courts, allant de quelques jours à quelques semaines, l'apprentissage de techniques et de manipulations spécifiques. Ce dispositif sera constitué par un ensemble d'Unités de formation technique et méthodologique (U.F.T.M.), c'est-à-dire de laboratoires reconnus pour leur excellence dans la mise en oeuvre de certaines techniques".

Cette opération est déjà en cours présentement et il sera intéressant d'en faire le suivi.

## 7.5 Les filières d'application

Etant donné la place centrale, en terme de programmes de formation, qu'accorde le comité aux équipes de recherche travaillant dans les différentes filières d'application de la biotechnologie, la présente rubrique prend donc une très grande importance.

Nous avons déjà présenté en partie II, pour chacun des établissements, une analyse de fréquence, non pondérée, des mentions concernant les filières d'application. Comme une même équipe peut avoir indiqué plusieurs filières, le nombre de mentions est beaucoup plus grand que le nombre d'équipes. Un relevé de la distribution des chercheurs dans les différentes filières ne permet pas d'établir une image très fine du secteur: ici, chaque mention, multipliée par le nombre de chercheurs de l'équipe, donne les fréquences pondérées apparaissant au Tableau 4.

TABLEAU 4

| FRÉQUENCES PONDÉRÉES DES MENTIONS DE FILIÈRE D'APPLICATION | |
|---|---|
| Santé | 174 |
| Agriculture | 101 |
| Foresterie | 45 |
| Agro-alimentaire | 70 |
| Énergie | 47 |
| Mines | 4 |
| Industrie chimique | 38 |
| Traitement des déchets et des eaux usées | 66 |
| Total des fréquences pondérées | 545 |

Dans ce tableau, on peut déceler tout au plus, l'importance relative de la filière santé, la faiblesse relative des filières foresterie, énergie et industrie chimique, et la quasi absence de la filière mines.

Mais comme représentation de la couverture relative des différentes filières, cette image est biaisée: le total des fréquences pondérées est de 545, alors que le nombre total de chercheurs impliqués est de 244 selon le Tableau 1. Elle est biaisée non seulement parce que des chercheurs travaillent dans plusieurs équipes, mais également par le fait que des équipes travaillent dans plusieurs filières. Ces deux situations n'ont rien de mauvais en soi, au contraire, mais elles amènent comme conséquence que le même chercheur peut-être compté plusieurs fois dans une filière donnée. Ce phénomène ne joue pas de façon aléatoire, il est plus important pour certaines filières que pour d'autres, par conséquent, la répartition relative des effectifs dans les différentes filières s'en trouve faussée.

Pour corriger plus adéquatement ce tableau d'ensemble, nous avons fait la distinction, pour chaque équipe, entre la filière d'application principale de ses travaux et les autres filières qu'elle indiquait. Contrairement à ce qui se passait pour les techniques, cette identification de la filière principale a été facile à faire dans la très grande majorité des cas, au seul regard des titres des projets. Il est évident qu'il s'agissait ici d'identifier, pour une équipe donnée, la filière d'application principale en biotechnologie, même si par ailleurs et de façon évidente, la même équipe pouvait viser aussi des applications en dehors de la biotechnologie. Pour quelques équipes, nous avons dû procéder de façon arbitraire, dans le cas de filières présentant des recouvrements.

Le résultat de cette identification des filières "principales" et des "autres" apparaît au Tableau 5. La diagonale principale, les nombres encadrés, représente les fréquences de ce que nous avons considéré la principale filière de l'équipe. La somme de cette diagonale donne 277; si on y ajoute les six chercheurs que nous n'avons pas pu classer, on arrive à 283, c'est-à-dire la somme des chercheurs mentionnés dans les équipes apparaissant au Tableau 1. (Rappelons que dans ce nombre, certains chercheurs sont mentionnés - et par conséquent comptés - dans deux équipes.)

En terme de filières principales, le développement relatif de la filière santé apparaît maintenant de façon encore plus évidente. Si, de surcroit, comme l'a pressenti le comité, cette filière d'application a été définie, par le monde médical, de façon restrictive, son importance est ici largement sous-estimée. C'est donc dire que "santé" occupe la majorité du champ.

## TABLEAU 5

FRÉQUENCES PONDÉRÉES DES MENTIONS DE FILIÈRES DANS LA FILIÈRE PRINCIPALE DES ÉQUIPES (NOMBRES ENCADRÉS) ET DANS LES AUTRES FILIÈRES MENTIONNÉES (NOMBRES ENTRE PARENTHÈSES).

| Filières mentionnées / Filière principale | Santé | Agriculture | Foresterie | Agro-alimentaire | Énergie | Mines | Industrie chimique | Traitement des déchets et des eaux usées |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Santé | [155] | (37) | (24) | (7) | | (4) | (16) | (5) |
| Agriculture | | [31] | ( 1) | (6) | (5) | | | |
| Foresterie | | (5) | [6] | | | | | |
| Agro-alimentaire | (9) | (20) | (6) | [37] | (7) | | | (18) |
| Énergie | | ( 4) | (4) | (4) | [20] | | (15) | (16) |
| Mines | | | | | | | | |
| Industrie chimique | (1) | (3) | (4) | | | | [6] | (5) |
| Traitement des déchets et des eaux usées | (9) | (1) | | (16) | (15) | | ( 1) | [22] |
| Total des fréquences pour chaque filière du Tableau 3 | 174 | 101 | 45 | 70 | 47 | 4 | 38 | 66 |

N.B. 4 équipes, totalisant 6 chercheurs, n'ont pu être classées dans ce tableau.

L'agriculture et l'agro-alimentaire, toujours sur une échelle relative, sont beaucoup moins développées que les données du Tableau 3 ne le laissaient paraître.

Les filières énergie et traitement des déchets et des eaux usées sont encore notablement moins développées.

Foresterie et industrie chimique n'y apparaissent plus que de façon marginale.

Les mines enfin ne constituent la filière principale d'aucune équipe de recherche.

Le résultat de la diagonale principale constitue, à certains égards, une représentation plus juste de la distribution des effectifs dans les différentes filières que ne le faisait le Tableau 4. Par contre, alors que ce dernier masquait des déficiences, cette nouvelle distribution pourrait les accentuer au delà de la réalité. En effet, les différentes filières ne sont pas étanches les unes aux autres, elles ont des parentés évidentes et l'attribution de la mention "principale" à une filière donnée, pour un ensemble de travaux donnés, comporte une part d'arbitraire, comme nous l'avons déjà souligné. C'est pour cette raison que nous avons voulu représenter sur le même tableau, non seulement les fréquences à titre de filière principale (nombres encadrés - diagonale principale) mais également les fréquences des autres mentions de filière (nombres entre parenthèses).

Plusieurs de ces mentions de filières secondaires ne sont toutefois guère étoffées par la présentation des travaux de recherche. Certaines semblent être plutôt de la nature des intentions. D'autres sont tout-à-fait marginales dans l'ensemble des travaux de l'équipe. On ne peut donc pas compter ces cas comme des contributions significatives aux effectifs engagés dans la filière en question.

Il y a par contre de nombreux cas où la double ou même la triple mention de filières est vraiment significative et repose sur un recouvrement important entre filières.

Ces recouvrements amènent des corrélations évidentes dans les fréquences de mention en filières. Dans plusieurs cas, la fréquence des mentions d'une "autre filière" est de l'ordre de la moitié ou plus de la fréquence de mention de la "filière principale". Nous considérerons que ces cas correspondent à des corrélations fortes:

- traitement des déchets et des eaux usées comme filière principale apparaît ainsi en forte corrélation avec agro-alimentaire d'une part, et avec énergie d'autre part;
- énergie, comme filière principale, apparaît en forte corrélation avec industrie chimique et traitement des déchets et des eaux usées.
- Agro-alimentaire, comme filière principale, apparaît en corrélation forte avec agriculture d'une part, et avec traitement des déchets et des eaux usées, d'autre part.

Le Tableau 6 illustre, en plus des fréquences de mention de chaque filière à titre de filière principale, les corrélation fortes, en fréquences (nombres entre parenthèses), d'une filière principale vers d'autres filières.

Nous avons évidemment laissé de côté, dans cette analyse, les cas où les nombres sont trop petits pour que les corrélations soient significatives. Nous y avons cependant ajouté, en pointillés, celles de la filière santé vers d'autres filières, corrélations dont aucune n'atteint,

loin de là, la moitié de la fréquence de mention de la santé comme filière principale. Les nombres absolus étant importants par contre, nous avons voulu en tenir compte, même si on ne sait pas si ces corrélations sont liées à la nature des filières impliquées ou simplement à la prépondérance numérique de la filière santé. Le résultat démontre néanmoins des possibilités d'interactions très intéressantes entre équipes engagées dans des filières différentes mais qui portent intérêt aux mêmes réalisations et aussi les affinités de regroupements.

TABLEAU 6

CORRÉLATIONS ENTRE FILIÈRES D'APPLICATION

| Filière | Fréquence de mention à titre de filière principale |
|---|---|
| Santé | 155 |
| (37) → Agriculture | 31 |
| (20) ↑ Agro-alimentaire | 37 |
| (16) ↑ (18) ↓ Traitement des déchets et des eaux usées | 22 |
| (16) ↑ (15) ↓ Énergie | 20 |
| (16) (15) ↓ Industrie chimique | 6 |
| (24) → Foresterie | 6 |
| Mines | 0 |

Le Tableau 7, représente les fréquences pondérées des mentions de réalisations envisagées par les équipes, en fonctin de leur filière principale: il donne une vue générale de la distribution des activités en fonction de ces réalisations.

"Produits biologiques ou pharmaceutiques" est la réalisation envisagée où la fréquence pondérée est la plus élevée. Cette réalisation est toutefois la plus hétérogène: elle peut comprendre un vaccin en santé, ou un produit diagnostique tout comme un agent de présentation des aliments en agroalimentaire ou un biopesticide. Dans les autres cas, les réalisations envisagées sont plus homogènes et représentent davantage la même chose d'une filière à l'autre.

Pour chaque filière, il y a une ou plusieurs réalisations envisagées qui émergent où nous avons encadré les fréquences élevées, correspondant aux réalisations principales d'une filière donnée. On retrouve ici les corrélations que nous avons déjà soulignées entre filières, mais nous les retrouvons au niveau des réalisations envisagées cette fois. Le seul cas de corrélation que nous ne retrouvons pas au niveau des réalisations envisagées est celle de santé vers agriculture.

Le Tableau 7 nous permet donc de vérifier si les corrélations modifient appréciablement la répartition des effectifs entre filières, telle qu'elle apparaît dans la diagonale principale du Tableau 5. Rappelons que ces nombres (fréquences pondérées) sont, à peu près, proportionnels aux effectifs de chercheurs.

TABLEAU 7

FRÉQUENCES PONDÉRÉES DES MENTIONS DE RÉALISATION ENVISAGÉE EN FONCTION DE LA FILIÈRE PRINCIPALE

| Filière principale \ Réalisation envisagée | Produits biologiques ou pharmaceutiques | Produits chimiques | Utilisation de la biomasse à des fins énergétiques | Biotraitement des pollutions | Renouvellement de certaines pratiques agricoles et horticoles | Production de protéines d'organismes monocellulaires | Lixiviation des minéraux |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Agriculture | 9 | | 2 | | [28] (10) | | |
| Agro-alimentaire | [14] | 7 | 2 | [16] (16) (13) | 10 | [13] (12) (12) [12] | |
| Traitement des déchets et des eaux usées | 9 | 9 | [14] (16) (13) | [22] (15) (15) | | 4 | |
| Énergie | 4 | [15] (15) | [17] | [15] | | | |
| Industrie chimique | 4 | [6] (14) | 3 | 2 | | 1 | |
| Santé | [134] | 20 | | 1 | 13 (13) | 16 | 3 |
| Foresterie | | | | | [6] | | |
| TOTAL | 174 | 57 | 38 | 56 | 57 | 46 | 3 |

En fait, cette analyse montre ce que l'on aurait pu soupçonner à priori, i.e. que ces corrélations sont souvent réciproques et correspondent à un intérêt porté au même objet, à deux points de vue différents. Dans l'ensemble, elles ne modifient guère la distribution des effectifs parmi les différentes "filières principales", elles n'amènent pas à réévaluer à la hausse les effectifs d'une filière donnée, sauf peut-être pour industrie chimique (qui bénéficie d'un apport d'énergie d'une part et de santé d'autre part) et également foresterie (par apport de santé). Mais même avec cette nuance, industrie chimique et foresterie restent deux filières nettement sous-développées relativement aux autres.

En guise de conclusion générale à cette analyse de distribution des effectifs dans les différentes filières d'application, nous ne pouvons donc que répéter les conclusions que nous avions déjà tirées suite au Tableau 5: sur une échelle relative, la filière santé émerge des autres. Sur la même échelle, les effectifs dans les autres filières correspondent à des nombres modestes, sinon petits, et ce n'est qu'en comptant les mêmes personnes plusieurs fois, comme au Tableau 4, que l'on peut avoir l'impression de couvrir au Québec la plupart des filières autres que santé. N'oublions pas, par ailleurs, que ces nombres modestes sinon petits ne sont que la ventilation des 283 mentions de noms de chercheurs (244 personnes) nombre que d'aucuns trouveront gonflé et sur lequel nous avons éprouvé le besoin de nous expliquer longuement plus haut.

Enfin, pour terminer cette analyse de la distribution des effectifs dans les différentes filières d'application, il nous semble essentiel de considérer une autre variable, celle de la taille des équipes. Que vingt chercheurs dans une filière donnée soient dispersés sous forme de chercheurs individuels ou en très petites équipes n'assure pas la même couverture de la filière que ne le ferait leur regroupement en une ou deux équipes intégrées. Nous avons suffisamment insisté, tout au long de ce rapport, sur la necessité d'équipes interdisciplinaires fortes pour couvrir un secteur comme la biotechnologie pour que l'utilisation de cette variable devienne une donnée essentielle.

D'une façon qu'on pourrait aisément qualifier d'arbitraire, nous avons voulu voir ce que donnerait la distribution des équipes de quatre chercheurs ou plus. Non pas que nous y voyions un seuil souhaitable ni l'atteinte d'une masse critique mais nous avons voulu considérer un nombre réaliste de chercheurs par équipe pour analyser le phénomène "constitution d'équipes" dans le secteur, vu l'état actuel de la situation au Québec. Le Tableau 8 montre cette distribution répartie par nous selon la filière principale. On y voit clairement la rareté croissante de telles équipes de quatre et plus, sauf dans le secteur santé.

Ici doit s'arrêter l'analyse que peut faire le présent comité de la distribution des effectifs dans les différentes filières d'application. Il ne serait pas de notre mandat de scruter les activités de recherche de chacune de ces équipes et de dire lesquelles sont de haute qualité sur le plan scientifique et lesquelles couvrent leur filière d'application dans les voies les plus prometteuses en fonction de l'état d'avancement des connaissances et en fonction des applications les plus importantes.

Nous nous contenterons de réitérer l'objectif de constitution d'au moins une grande équipe interdisciplinaire de haut calibre dans chacune des filières d'application, avec tout ce que cela implique (et que nous avons vu à la rubrique 6.3). Au point de vue quantitatif, cet objectif n'est évidemment pas atteint. Au point de vue qualitatif, nous avons donné, dans la partie II quelques indications sur chacune de ces équipes, indications largement basées sur des critères d'excellence et de performance. Il ne s'agissait-là que d'un premier déblayage qui devra être suivi d'une analyse beaucoup plus poussée de l'excellence et de la performance de ces équipes, analyse qui déborde évidemment notre mandat.

TABLEAU 8

DISTRIBUTION DES ÉQUIPES DE QUATRE CHERCHEURS OU PLUS, SELON LA FILIÈRE PRINCIPALE

| Filière principale / Nombre de chercheurs dans l'équipe | Santé | Agri-culture | Agro-ali-mentaire | Fores-terie | Énergie | Industrie chimique | Traitement des déchets et des eaux usées | Mines |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 4 | 1 | 1 | | 2 | | | |
| 5 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 6 | 1 | | | | | | | |
| 7 | 2 | | 1 | | 1 | | | |
| 8 | 1 | | | | | | | |
| 9 | 1 | | | | | | 1 | |
| 10 | 1 | | | | | | | |
| 11 | 1 | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | |
| 13 | 2 | | | | | | | |

Ce que nous pouvons en dire au terme de notre analyse, c'est qu'il y a déjà des équipes de recherche de haut calibre dans certaines filières mais qu'il reste à faire un énorme travail de consolidation et de concertation, avant que le Québec ne puisse vraiment être présent en biotechnologie et espérer en retirer les fruits escomptés.

Depuis le début de la rubrique 7, nous avons envisagé des éléments de stratégie pour y parvenir, regroupements, concertation, revitalisation de certains départements, etc. Dans la conjoncture actuelle d'austérité budgétaire pour les universités, ces éléments ne suffiront pas et les efforts que devront fournir les universités pour couvrir adéquatement le secteur biotechnologie devront être épaulés par des injections de la part de l'Etat. Il ne s'agit pas seulement ici de subventions de recherche de type thématique. Il faudra prévoir des réorganisations parfois importante, des engagements de nouveaux professeurs, etc.

Aux établissements présentant un projet intégré visant la formation d'une véritable équipe interdisciplinaire dans une filière donnée, il devrait être possible d'obtenir une subvention spéciale d'aide au développement. Certaines des équipes actuelles pourraient servir de noyau à de tels projets. Dans d'autres cas, le travail de recrutement, d'organisation et de consolidation sera beaucoup plus considérable.

Il est évident que ces projets devront être jugés à la fois en fonction de l'excellence de la recherche proposée, de sa pertinence et de la cohérence de sa programmation par rapport au développement des biotechnologies, à la formation spécifique de main-d'oeuvre et aussi à la mise en place de liens avec l'industrie. En conséquence,

RECOMMANDATION XVIII

Nous recommandons

- que les établissements présentant un projet intégré et cohérent visant la mise sur pied d'une véritable équipe interdisciplinaire de formation et de recherche dans une des filières de la biotechnologie puissent recevoir une subvention spéciale de développement accéléré en fonction de la programmation proposée;
- que dans la planification du financement de ces projets, les établissements, les chercheurs et les organismes subventionnaires prennent en compte les objectifs différenciés des programmes de subventions visant soit le maintien des activités, soit leur accélération, soit la structuration de l'ensemble des activités dans les biosciences et les sciences appliquées.

Par ailleurs, il est de notoriété publique que les chercheurs québécois - et particulièrement francophones - ne vont pas chercher leur part de subventions, particulièrement au fédéral. Cette situation est anormale et désastreuse si l'on veut développer la recherche de pointe au Québec.

RECOMMANDATION XIX

Compte tenu de l'importance que le comité a accordé à la caution des pairs pour garantir la qualité des recherches, le comité recommande que les chercheurs demandent et obtiennent une part plus grande des enveloppes des fonds des organismes subventionnaires, fédéraux en particulier.

La mise sur pied de telles équipes implique souvent aussi une infrastructure de personnels et d'équipements indispensables à leur raison d'être et à leur efficacité. En ce sens,

RECOMMANDATION XX

Le comité recommande que les subventions accordées tiennent compte de l'infrastructure technique permanente nécessaire au développement des activités en biotechnologie, particulièrement dans les cas où les carences sont notables.

Par ailleurs, si la constitution d'équipes interdisciplinaires requiert l'injection de nouveaux chercheurs dédiés à la recherche, comme des chercheurs-boursiers, par exemple, des problèmes d'intégration au corps professoral permanent pourraient surgir particulièrement dans les facultés de formation professionnelle. Dans leur politique d'embauche, le comité croit que les universités francophones devraient s'inspirer des modèles anglo-canadien et américain beaucoup plus souples à cet égard.

Par ailleurs, malgré la mise à jour des connaissances qui pourrait permettre des initiatives de formation continue - tel que proposé en 6.4 - le comité reconnait qu'il est indispensable de ménager pour les chercheurs des mécanismes de stages de perfectionnement hors du Québec, particulièrement aux Etats-Unis où la plus grande partie de la recherche de pointe en biotechnologie s'effectue. Or, il n'est pas évident que les mécanismes qui existent actuellement répondent adéquatement aux besoins réels et ponctuels des candidats à ces stages. A ce titre, le comité croit qu'il y a moyen d'accélérer ou d'assouplir les processus menant à l'obtention d'aide financière aux chercheurs, leur permettant d'aller explorer des domaines, comprendre des développements ou apprendre des techniques en biotechnologie.

RECOMMANDATION XXI

Afin de promouvoir une évolution rapide de la biotechnologie, nous recommandons que soient favorisés les contacts des chercheurs québécois avec des chercheurs hors Québec en biotechnologie et qu'à cette fin, les mécanismes d'obtention d'aide financière soient assouplis de telle façon qu'ils répondent mieux à la nature et au moment des besoins.

Toutefois, une inquiétude persiste chez le comité en ce qui a trait aux effets que pourraient avoir les subventions aux grandes équipes interdisciplinaires de recherches dans une filière donnée. En effet, l'enracinement de ces recherches aux biosciences qui les nourrit reste une condition importante, pour le comité d'un développement durable et significatif. Or, le danger serait l'excision, le détournement des activités de ces équipes de leur mission principale qui est aussi celle de faire progresser leur domaine disciplinaire. Le comité croit utile ici de sensibiliser les intervenants éventuels en biotechnologie à cette préoccupation. Il en fait même une recommandation.

RECOMMANDATION XXII

Nous recommandons aux organismes pourvoyeurs qui subventionneraient les équipes disciplinaires ou interdisciplinaires oeuvrant en biotechnologie, d'être attentif à l'enracinement des projets de biotechnologie dans l'évolution et la progression de leurs disciplines respectives.

Par la planification interinstitutionnelle, ces équipes devront utiliser toutes les ressources du réseau universitaire en biotechnologie. La partie II montre quelques exemples de collaboration entre les établissements; ces cas sont rares cependant et cette voie devra être utilisée plus systématiquement.

Il faudra même déborder le réseau universitaire et mettre à profit les chercheurs qui oeuvrent en dehors de ce réseau. De telles collaborations avec l'industrie existent déjà et ont été mentionnées dans la partie II. Les chercheurs bioindustriels sont rares au Québec: ils constituent cependant un ajout essentiel aux activités et aux liens université-industrie, ce qui constitue une des conditions de développement de ce secteur. Bref, il faut trouver des moyens d'établir des liens avec l'industrie, quitte à s'inspirer des universités américaines qui ont développé plus que tout autre, des modalités de transfert technologique. L'initiative du recteur de l'université Laval peut être citée à titre d'exemple de faisabilité d'un groupe d'interaction entre l'université, les maires des municipalités environnantes, les chambres de commerces, certains industriels, etc.

Dans cette perspective, une connaissance approfondie du parc des brevets détenus par les chercheurs de l'université reste un élément primordial à l'instauration d'échanges un tant soit peu productifs. Une mission du Programme d'intervention du ministère de la science et de la technologie s'est penchée sur la question de la propriété industrielle. Il serait pertinent pour les universités, de se référer aux conclusions de cette mission d'étude. Dans la même foulée, une sensibilisation des étudiants à la question des brevets ne serait certainement pas superflue.

Dans la veine des collaborations milieu-université, il faut aussi considérer la venue à Montréal du "Centre de recherche en biotechnologie de Montréal" du Conseil national de recherche du Canada. Il est difficile d'évaluer l'impact de cette création sur les activités biotechnologiques au Québec, du moins tant que sa programmation ne sera pas fixée. A tout le

moins il faut y voir un enrichissement du milieu à cet égard et des possibilités de collaborations. Depuis longtemps déjà l'université d'Ottawa bénéficie de la proximité des nombreux laboratoires du C.N.R.C. à Ottawa. L'implantation à Montréal d'un centre de recherche en biotechnologie devrait être l'occasion d'amorcer des collaborations avec les universités de la région montréalaise.

## 8. CONCLUSION

La constitution de ce réseau d'équipes interdisciplinaires couvrant l'ensemble des filières d'application de la biotechnologie et constituant le cadre principal de formation aux études avancées est une entreprise considérable. A certains, elle semblera même demesurée, compte tenue de l'ensemble des sollicitations que reçoit l'université. Cette dernière doit-elle opérer des changements de cap et concentrer ses maigres ressources libres sur chacun des secteurs qui apparaîssent successivement sur la scène des priorités politiques?

La question déborde largement le présent rapport, qui ne tentera même pas d'y apporter de réponse générale. Le cas de la biotechnologie est, de toute façon, un cas bien particulier, il importe de le souligner: elle n'est pas une priorité passagère parmi d'autres, fut-elle porteuse de subventions accrues; elle ne se confine pas à quelques activités bioindustrielles, fussent-elles intéressantes au point de vue économique; elle ne se limite pas aux activités de quelques équipes de recherche, fussent-elles prestigieuses.

Elle est <u>le</u> pendant industriel et commercial d'un large secteur universitaire sur les activités duquel la biotechnologie repose entièrement.

Les relations science-technologie-société ont donné lieu depuis quinze ans à des débats passionnés qui ont souvent dégagé plus de chaleur que de lumières. Les uns prétendaient que le besoin commande pratiquement seul l'innovation technologique qui se fera alors de toutes façons, sans relation, à toutes fins utiles, avec le développement scientifique ou technologique. D'autres prétendaient que l'innovation technologique provient essentiellement des progrès de la technologie elle-même, par la R. & D. en ingénierie. Pour d'autres enfin, l'innovation technologique était un bénéfice marginal et imprévisible de la recherche fondamentale.

Bien que ces modèles simplistes n'aient plus guère cours maintenant, ils ont laissé des séquelles dans les esprits et les différents intervenants dans le secteur devraient s'assurer que leur action, en fait, ne repose pas sur l'un ou l'autre de ces postulats.

Entre autres études (voir annexe, 3.6), les derniers rapports de l'O.C.D.E. sur le sujet intègrent de façon beaucoup plus réaliste les différents éléments intervenant dans l'innovation technologique et proposent de tenir compte, dans l'évaluation de cette dernière, non seulement des composantes d'évaluations sociale et économique mais aussi de l'état d'avancement de la science et de celui de la technologie.

Cette vision de l'interaction science-technologie-société est évidemment beaucoup plus complexe que les précédentes, mais elle est la seule qui puisse guider la planificaiton d'un secteur à aussi haute teneur scientifique que la biotechnologie.

Le développement de la biotechnologie ne saurait se faire en vase clos; il doit reposer sur le développement de la recherche fondamentale dans les biosciences elles-mêmes dans lesquelles il puise ses racines. De là l'importance d'associer l'université au développement du secteur.

Les modalités de cette association, tant en terme de programmes de formation que d'activités de recherche, seront d'autant plus efficaces qu'elles tireront davantage profit des potentialités des structures de l'université et de la spécificité des ses missions. Ce sera du moins le cas si ces modalités sont élaborées en conformité avec les recommandations des récents rapports de l'O.C.D.E. dont nous avons parlé plus haut, qui se sont prononcés sur les relations entre les activités universitaires et le développement économique. On retrouve le même esprit, comme nous l'avons vu en partie I, dans de très nombreux rapports qui sont parus sur la biotechnologie et avec lesquels le comité s'est trouvé en complet accord.

Cette association ne requiert pas de modifications importantes des structures universitaires. Elle ne requiert pas la création de nouveaux départements ou de nouveaux programmes formels. Elle ne requiert pas non plus que l'université réoriente ses activités vers le court terme et vers les applications au détriment de l'accroissement des connaissances de base et de leur évolution à long terme. Ce n'est pas en devenant des industriels que les universitaires contribueront au mieux à la révolution bioindustrielle; c'est en remplissant, dans toute son acception, leur rôle propre tant dans l'acquisition que dans la transmission des connaissances.

Cette association requiert par contre un effort considérable de mobilisation du milieu universitaire en terme de concertation, de consolidation, de regroupement des effectifs et d'ouverture des programmes de recherche et d'enseignement. Cette ouverture des programmes doit être commandée tout autant par l'évolution des disciplines concernées que par les besoins socio-économiques auxquels veut répondre le développement du secteur.

La pertinence de cette programmation signifiera aussi bien:

- l'application des connaissances à la solution de problèmes socio-économiques,
- le développement des technologies propres au secteur,
- le progrès des connaissances de base dans les domaines où elles constituent un goulot d'étranglement quant au développement du secteur.

Les chercheurs universitaires ne doivent pas tant essayer de savoir ce que les experts en biotechnologie attendent de leur discipline; ils doivent plutôt mettre leur originalité et leur savoir-faire à trouver eux-mêmes comment leur discipline peut s'appliquer au progrès du secteur, dans le cadre interdisciplinaire de la biotechnologie. Notre enquête nous a montré que plusieurs chercheurs l'ont compris, et que des établissements entiers l'ont compris. Il reste cependant beaucoup à faire à cet égard.

Devant l'imprévisibilité des directions de développement, nous avons proposé une couverture minimale du secteur par la constitution d'au moins une équipe interdisciplinaire de recherche de haut calibre dans chacune des filières d'application actuellement prévisibles dans le secteur.

Ce découpage du secteur en filières d'application est utilisé depuis plusieurs années déjà. Il n'est pas immuable cependant, au contraire. D'autres filières apparaîtront. On jugera peut-être utile de fusionner certaines des filières actuelles en raison de leurs fortes corrélations. Ou d'en scinder d'autres. L'important restera cependant de couvrir au Québec l'ensemble des voies d'application prometteuses, d'en tirer le maximum dans l'effort de développement de la bioindustrie d'une part mais également, d'y faire progresser l'expertise et les connaissance de base, pour être prêt, lorsqu'apparaîtront les grandes percées, d'en faire bénéficier le Québec.

# SYNTHESE
# DES
# RECOMMANDATIONS

# SYNTHESE DES RECOMMANDATIONS

## RECOMMANDATION I

Nous recommandons que la main-d'oeuvre requise en biotchnologie soit formée dans le cadre des programmes existants,

- au premier cycle dans l'une des biosciences ou des bioingéniéries impliquées dans ce secteur, dont les principales sont: biochimie, microbiologie, biologie, chimie, génie (bio)chimique;
- cette formation initiale pouvant être complétée par une spécialisation au niveau des études supérieures au sein d'une équipe de recherche oeuvrant dans l'un des domaines de la biotechnologie.

## RECOMMANDATION II

Nous recommandons que les universités prévoient la formation de spécialistes pour la biotechnologie dans la perspective d'une couverture de l'ensemble des voies les plus prometteuses identifiées par les chercheurs, qui soit aussi complète que le permettront l'augmentation des resssources et la rationalisation des activités existantes.

## RECOMMANDATION III

Que les universités s'assurent, par une révision, que les programmes impliqués comportent non seulement une solide formation disciplinaire mais également une ouverture et une sensibilisation à l'ensemble du secteur, à partir de la discipline de formation.

RECOMMANDATION IV

Nous recommandons que, dans les programmes de premier cycle pour chacune des biosciences impliquées en biotechnologie, on réévalue l'ouverture des programmes vers les disciplines que les progrès récents des connaissances ont mises en rapport avec la discipline principale, de façon à assurer une formation la plus à jour possible et par là, la plus utile au plan même de la compétence scientifique.

RECOMMANDATION V

Nous recommandons que les programmes de premier cycle dans les biosciences impliquées en biotechnologie comportent des activités de sensibilisation des étudiants aux applications industrielles et commerciales de leur discipline, à l'intérieur même des cours de sciences fondamentales, ainsi qu'à l'occasion de contacts avec la bioindustrie.

RECOMMANDATION VI

Nous recommandons que les programmes de premier cycle dans les biosciences impliquées en biotechnologie comportent un cours d'initiation à l'ingénierie, sans prérequis particulier en sciences physiques ou en mathématiques, et qui permette aux étudiants d'interagir ensuite utilement avec les ingénieurs.

RECOMMANDATION VII

Nous recommandons que les programmes de premier cycle en ingénierie, génie chimique et biochimique et possiblement génie industriel, comportent un cours d'initiation générale aux biosciences, pour donner aux futurs ingénieurs une vue d'ensemble de la biologie moléculaire et cellulaire, ainsi que de la génétique et de la physiologie, et leur permettre par la suite d'interagir utilement avec les spécialistes des biosciences.

RECOMMANDATION VIII

Si les universités veulent présenter les programmes de 1er cycle dans les secteurs d'application des biosciences comme préparation possible à une carrière en biotechnologie, nous recommandons

- que l'on intensifie la formation en biosciences fondamentales et
- que l'on se fixe comme objectif de développer chez les étudiants l'aptitude à l'innovation en faisant davantage le pont entre la pratique professionnelle et les sciences de base qui trouvent leurs applications dans l'industrie et dans les services publics.

RECOMMANDATION IX

Compte tenu de la nature même du secteur, compte tenu de la difficulté de prévoir les créneaux où s'effectueront les développements les plus rapides et les plus utiles, compte tenu, par conséquent, de l'impossibilité de faire des prédictions spécifiques de débouchés, le comité croit qu'il est inopportun d'instaurer des programmes de maîtrise ou de doctorat identifiés à la biotechnologie ou a l'un ou l'autre de ses domaines et qu'il vaut mieux utiliser, en les modifiant en conséquence, les programmes existants impliqués dans le secteur.

RECOMMANDATION X

Le comité recommande

- que les cours avancés en biotechnologie visent la spécialisation dans une des biosciences dans ses développements les plus récents et/ou portent sur des techniques de pointe et/ou sur des procédés d'applications particulièrement pertinents aux biotechnologies, et favorisent l'interdisciplinarité;
- que le choix des cours spécifiques à dispenser en biotechnologie, aux études avancées, se fasse en complémentarité d'une université à l'autre, afin d'atteindre le double objectif de rationalisation des ressources et de la couverture de secteur et
- que les départements concernés facilitent la circulation des étudiants d'un département à l'autre afin de leur permettre de s'alimenter aux recherches de pointe et de connaître différents domaines d'application.

RECOMMANDATION XI

Le comité recommande que, puisqu'une sensibilisation aux milieux de R. & D. est nécessaire, des stages ou des cours par des spécialistes des problèmes de ce milieu soient organisés pour satisfaire cette dimension de la formation.

RECOMMANDATION XII

Le comité recommande qu'aux études avancées, la réalisation d'un projet de recherche soit l'outil privilégié de formation en biotechnologie.

RECOMMANDATION XIII

Nous recommandons que les projets de recherche universitaires en biotechnologie soient choisis aussi bien en fonction de l'intérêt qu'ils présentent au point de vue progrès des connaissances qu'au point de vue de leur pertinence à l'égard du secteur et de ses champs d'application.

RECOMMANDATION XIV

Nous recommandons

- que, dans l'optique de la recommandation II, on crée ou on consolide, le cas échéant, dans le réseau des universités québécoises, au moins une grande équipe de recherche interdisciplinaire de haut calibre, dans chacune des filières d'application de la biotechnologie, voire davantage, dans le cas des filières très diversifiées et que, pour y parvenir, les universités mettent au point des mécanismes de coordination et de planification, tant à l'intérieur des établissements qu'au niveau interuniversitaire, et
- que l'injection de nouveaux professeurs vise la complémentarité des expertises recherchées dans ces équipes.

RECOMMANDATION XV

Nous recommandons que, à l'intérieur des programmes existants, ces équipes interdisciplinaires de recherche constituent le cadre principal de formation aux études supérieures pour les futurs spécialistes dans le secteur de la biotechnologie par l'initiation au travail de recherche dans un sujet pertinent à la filière d'application biotechnologique de l'équipe.

RECOMMANDATION XVI

Nous recommandons, dans le cadre de la recommandation XIV,

- que les universités redéfinissent leurs activités de recherche dans les biosciences pertinentes à la biotechnologies,
- s'assurent que les aspects fondamentaux des sciences biologiques pertinentes à la biotechnologie y soient bien développés, particulièrement en physiologie et génétique végétales et en physiologie microbienne, qui sont encore plus sous-développées au Québec qu'ailleurs,quitte à réunir les départements d'une même discipline en une seule entité à plusieurs vocations,
- qu'elles consolident les activités dans l'ensemble des biosciences impliquées.

RECOMMANDATION XVII

Le comité propose donc que les universités redéfinissent leurs priorités de recherche dans les bioingénieries pertinentes aux biotechnologies, les assurent du soutien de l'université dans leur développement et enfin, qu'elles y consolident les équipes et les activités.

RECOMMANDATION XVIII

Nous recommandons

- que les établissements présentant un projet intégré et cohérent visant la mise sur pied d'une véritable équipe interdisciplinaire de formation et de recherche dans une des filières de la biotechnologie puissent recevoir une subvention spéciale de développement accéléré en fonction de la programmation proposée;
- que dans la planification du financement de ces projets, les établissements, les chercheurs et les organismes subventionnaires prennent en compte les objectifs différenciés des programmes de subventions visant soit le maintien des activités, soit leur accélération, soit la structuration de l'ensemble des activités dans les biosciences et les sciences appliquées.

RECOMMANDATION XIX

Compte tenu de l'importance que le comité a accordé à la caution des pairs pour garantir la qualité des recherches, le comité recommande que les chercheurs demandent et obtiennent une part plus grande des enveloppes des fonds des organismes subventionnaires, fédéraux en particulier.

RECOMMANDATION XX

Le comité recommande que les subventions accordées tiennent compte de l'infrastructure technique permanente nécessaire au développement des activités en biotechnologie, particulièrement dans les cas où les carences sont notables.

RECOMMANDATION XXI

Afin de promouvoir une évolution rapide de la biotechnologie, nous recommandons que soient favorisés les contacts des chercheurs québécois avec des chercheurs hors Québec en biotechnologie et qu'à cette fin, les mécanismes d'obtention d'aide financière soient assouplis de telle façon qu'ils répondent mieux à la nature et au moment des besoins.

RECOMMANDATION XXII

Nous recommandons aux organismes pourvoyeurs qui subventionneraient les équipes disciplinaires ou interdisciplinaires oeuvrant en biotechnologie, d'être attentif à l'enracinement des projets de biotechnologie dans l'évolution et la progression de leurs disciplines respectives.

# ANNEXES

Annexe I

Gouvernement du Québec

Le ministre de l'Éducation

Québec, le 19 juillet 1982

Monsieur Jacques L'Ecuyer
Président
Conseil des universités
2700, boul. Laurier
Québec, QC
G1V 2L8

Monsieur le président,

Comme vous le savez déjà, le gouvernement du Québec considère le développement des biotechnologies comme une priorité à laquelle il incite plusieurs intervenants à participer. Le ministre d'Etat au développement culturel et scientifique a élaboré à cette fin un programme d'intervention spécifique intitulé Le Québec à l'heure des biotechnologies.

Dans ce programme, la contribution du ministère de l'Education est sollicitée, notamment au niveau de la formation en biotechnologies que l'on peut considérer comme la base de tout développement à long terme d'un pôle d'excellence québécois en ces domaines.

Je demande au Conseil des universités un avis sur la formation en biotechnologies, particulièrement sur les points suivants:

- la qualité des programmes actuels et de l'enseignement dans les biosciences requises pour la formation des chercheurs en biotechnologies et dans les sciences appliquées requises pour la formation de bioingénieurs;

- les moyens d'élever cette qualité et, éventuellement, la façon de combler les lacunes;

.../2

- les moyens de faciliter l'établissement de profils de formation qui permettent une interdisciplinarité intégrée, un encadrement rigoureux des étudiants et, le cas échéant, des collaborations interinstitutionnelles.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le président, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Le ministre de l'Education,

CAMILLE LAURIN, m.d.

Gouvernement du Québec
**Conseil de la politique scientifique**

Annexe II
Gouvernement du Québec
**Conseil des universités**

Sainte-Foy, le 15 décembre 1982

Monsieur le vice-recteur,

Le premier septembre dernier, monsieur Marc-André Turcotte, secrétaire du Comité sur la biotechnologie du Conseil de la politique scientifique du Québec, demandait aux différentes universités québécoises un résumé des activités de recherche et d'enseignement, ainsi que la liste des ressources humaines dans le domaine de la biotechnologie.

Depuis lors, les universités ont fait parvenir ces renseignements à Monsieur Turcotte.

Pour le Conseil de la politique scientifique, cette cueillette d'information constituait un outil essentiel dans son travail d'aviseur du ministre à la Science et à la Technologie du gouvernement du Québec en toutes matières de politique scientifique.

Par ailleurs, suite à la parution du programme d'intervention intitulé "A l'heure des Biotechnologies", le ministre de l'Education a demandé au Conseil des universités "un avis sur la formation en biotechnologies, particulièrement sur les points suivants:

- la qualité des programmes actuels et de l'enseignement dans les biosciences requises pour la formation des chercheurs en biotechnologies et dans les sciences appliquées requises pour la formation de bioingénieurs;

.../2

- les moyens d'élever cette qualité et, éventuellement, la façon de combler les lacunes;
- les moyens de faciliter l'établissement de profils de formation qui permettent une interdisciplinarité intégrée, un encadrement rigoureux des étudiants et, le cas échéant, des collaborations interinstitutionnelles."

Le Conseil des universités a donc constitué un comité pour rédiger un projet d'avis. Ce Comité sur la formation en biotechnologie est composé de:

Monsieur Yvon SICOTTE, professeur, Université de Montréal, président
Monsieur J-André FORTIN, professeur, Université Laval
Monsieur Claude VEZINA, chercheur, Laboratoires Ayerst
Madame Nicole LAPIERRE VINCENT, responsable du dossier sur la biotechnologie, Conseil des universités.

Le mandat de cé comité l'amène évidemment à se pencher sur des données qui sont en partie identiques à celles que le Comité de la biotechnologie du Conseil de la politique scientifique avait déjà demandées aux universités.

Comme nous l'annoncions dans notre lettre du 30 novembre 1982, les deux comités ont donc décidé de procéder de concert dans l'analyse de ces données et de les compléter, le cas échéant, au cours d'une opération unique.

L'analyse des textes déjà fournis par les universités révèle une activité importante dans le domaine de la biotechnologie. Par ailleurs, la présentation même des textes offre souvent assez de similarités et assez de cohérence pour que l'on puisse procéder à une simple demande de supplément d'information en complétant le premier document.

.../3

Les informations qui semblent pertinentes à l'un ou l'autre des deux comités pour remplir leur mandat forment la grille suivante:

1. La place de la biotechnologie dans les priorités de l'université.

   - Axes privilégiés;
   - spécificité de la couverture du domaine;
   - appui institutionnel au domaine, etc.

2. Les programmes de premier cycle pouvant mener à des études supérieures dans un des domaines de la biotechnologie.

   - Enumération des programmes, options ou concentrations;
   - énumération des cours comportant des éléments importants spécifiques à la biotechnologie, etc.

3. Les programmes d'études supérieures en biotechnologie.

   On retrouve ici, comme dans bien d'autres secteurs, la nécessité de distinguer entre les programmes d'études supérieures, tels que définis dans les annuaires et qui sont souvent des programmes cadres d'une part et, d'autre part, l'ensemble des activités spécifiques reliées à la formation des chercheurs dans un domaine donné. C'est dans ce dernier sens que le mot programmes sera utilisé sous la présente rubrique. Ces programmes ne conduisent généralement pas à un diplôme spécifique mais au diplôme du programme cadre. Ils peuvent avoir ou non des exigences spécifiques et terme de règlements pédagogiques ou de cours. Ils peuvent avoir ou non une structure spécifique de programme.

.../4

Ce que l'on cherche à identifier ici, ce sont les groupes de chercheurs en biotechnologie, à l'intérieur desquels des étudiants reçoivent leur formation aux études supérieures.

Sous cette rubrique, on fera donc état:

a) des structures spécifiques à la biotechnologie s'il en existe: comité de programme interdépartemental et sa composition, séminaire interdisciplinaire, etc.;
b) du domaine spécifique de la biotechnologie couvert par chacun des programmes où l'on en fait;
c) des exigences particulières de chacun des programmes spécifiques (période de qualification, etc.);
d) des cours avancés en biotechnologie;
e) du nombre d'étudiants inscrits dans chacun de ces programmes à chaque année depuis cinq ans à la maîtrise et au doctorat;
f) du nombre de diplômés pour chacune de ces années;
g) des titres des mémoires et des thèses.
h) de l'implication de l'industrie dans la formation (stages, postes, bourses, échange de personnel, etc.).

4. <u>Les groupes de recherche en biotechnologie</u>.

Pour chacun des groupes, il y aurait lieu de donner les renseignements suivants:

a) domaine spécifique de recherche en biotechnologie et description générale des travaux. Il sera utile de compléter cette description en choisissant un mot clé dans chacune des quatre listes suivantes:

.../5

ORGANISMES

virus des animaux et des végétaux et bactériophages
bactéries
actinomycètes
levures
champignons saprophytes
champignons symbiotiques
algues
cellules végétales
cellules animales

TECHNIQUES

génie génétique
systèmes enzymatiques
technologies des fermentations
génie biochimique
procédés d'extraction et de purification
sélection des souches
culture et fusion des cellules

DOMAINES D'APPLICATIONS

santé
agriculture
foresterie
agro-alimentaire
énergie
mines
industrie chimique
traitement des déchets et des eaux usées

.../6

REALISATIONS ENVISAGEES

produits biologiques ou pharmaceutiques
produits chimiques
utilisation de la biomasse à des fins énergétiques
biotraitement des pollutions
renouvellement de certaines techniques agricoles et horticoles
production de protéines d'organismes monocellulaires
lixiviation des minéraux

Les trois dernières listes ont été tirées partiellement de "A l'heure des biotechnologies"(1). Si ces listes apparaissent incomplètes, on l'indiquera et on complètera;

b) réalisations principales. Toute découverte, application, percée ou invention illustrant la force et le potentiel du groupe en biotechnologie;

c) perspectives de recherches futures et applications envisagées par le groupe et période probable de réalisation (d'ici 5 ans, 10 ans, etc.)

d) noms des chercheurs en indiquant leur spécialité et la fraction du temps de recherche consacré par chacun à ce domaine;

e) autres personnels et fraction du temps consacré par chacun à ce domaine (personnel de soutien, techniciens, personnel temporaire);

f) subventions obtenues pour les recherches du groupe dans le domaine indiqué en 4 a), en remontant, s'il y a lieu, jusqu'à cinq ans, et origine des subventions y compris les subventions internes;

---

(1) Programme d'intervention pour le développement de la recherche en biotechnologies au Québec, phase I: 1982-1987; Secrétariat à la Science et à la Technologie, juillet 1982.

.../7

g) équipements importants disponibles;

h) liste des publications dans des revues avec jury de lecture et brevets du groupe dans le domaine indiqué en 4 a) depuis cinq ans,

i) collaborations avec les chercheurs d'autres groupes de la même institution ou d'ailleurs dans le domaine indiqué en 4 a);

j) recherche et développement conjoints avec l'industrie.

5. Organisme central spécifique

On indiquera s'il existe un organisme de coordination, d'animation et/ou de planification des activités en biotechnologie à l'échelle de l'institution et on donnera une description de cet organisme.

En voyant cette grille, on s'apercevra que la plupart des universités l'ont déjà utilisée en grande partie dans leur premier document. Le but de la présente lettre est de vous donner l'occasion, si vous le désirez, de compléter ce premier document en y ajoutant les informations demandées ci-haut, si elles n'y sont pas déjà.

Toutefois, si vous modifiez ledit document dans ce sens, il serait fort utile que nous puissions en prendre connaissance quelques jours avant la rencontre prévue fin janvier avec les représentants de votre université. M. Marc-André Turcotte prendra contact avec vous sous peu pour fixer précisément cette date de rencontre.

.../8

Après avoir permis aux deux comités de formuler des avis les mieux informés possibles, le nouveau document de chacune des universités sera joint en annexe au projet d'avis sur la formation transmis au Conseil des universités, de même qu'au projet d'avis sur les créneaux de développement transmis au Conseil de la politique scientifique du Québec.

Nous vous prions de recevoir, monsieur le vice-recteur, l'expression de nos sentiments distingués.

Marc-André Turcotte, secrétaire
Comité sur la biotechnologie
Conseil de la politique scientifique du Québec
1275, boul. Charest ouest
QUEBEC, QC
G1N 2C9
Tél.: (418) 643-6179

Nicole Lapierre Vincent, secrétaire
Comité sur la formation en biotechnologie
Conseil des universités
2700, boulevard Laurier
Tour Frontenac, suite 810
SAINTE-FOY, QC
G1V 2L8
Tél.: (418) 643-1954

LISTE DES VICE-RECTEURS

Monsieur Robert Roy
Doyen des Arts et des Sciences
Université Concordia
1463, Bishop, Salle BC 303-C
MONTREAL, QC
H3G 1M8

Monsieur Yves Giroux
Vice-recteur adjoint à l'enseignement et à la recherche
Université Laval
Cité universitaire
SAINTE-FOY, QC
G1K 7P4

Monsieur Jean-Pierre Wallot
Vice-recteur aux études
Université de Montréal
Case postale 6128, Succ. A
MONTREAL, QC
H3C 3J7

Monsieur René J.-A. Lévesque
Vice-recteur à la recherche
Université de Montréal
Case postale 6128, Succ. A
MONTREAL, QC
H3C 3J7

Monsieur Gaston Denis
Vice-recteur à l'enseignement
Université de Sherbrooke
2500, boul. Université
SHERBROOKE, QC
J1K 2R1

Monsieur Bernard Bénard
Vice-recteur à la recherche
Université de Sherbrooke
2500, boul. Université
SHERBROOKE, QC
J1K 2R1

Monsieur Gordon A. Maclachlan
Vice-principal à la recherche
Université McGill
845, rue Sherbrooke ouest
MONTREAL, QC
H3A 2T5

Monsieur Germain Gauthier
Vice-président à l'enseignement et à la recherche
Université du Québec
2875, boulevard Laurier
SAINTE-FOY, QC
G1V 2M3

Annexe III

# LA BIOTECHNOLOGIE AU QUEBEC:

# MISE EN PERSPECTIVE

# DANS LE CONTEXTE INTERNATIONAL.

YVON SICOTTE

Annexe au rapport du
Comité sur la formation
en biotechnologie, du
Conseil des universités.

OCTOBRE 1983

# INTRODUCTION

Le présent texte a été écrit pour servir d'éclairage aux travaux et au rapport du Comité du Conseil des universités sur la formation en biotechnologie. Il était important en effet de replacer l'effort actuel du Québec en planification des activités en biotechnologie dans une contexte très large, incluant la politique scientifique biotechnologique des autres pays, mais situant même ces politiques par rapport aux interrogations des dernières décennies sur le rôle de la science et celui de l'université dans la société. La biotechnologie présente à cet égard valeur d'exemple, à l'heure du "Virage technologique".

Je remercie les autres membres du comité, madame Nicole Vincent et messieurs J.-André Fortin et Claude Vézina pour les discussions stimulantes que nous avons eues sur les sujets traités ici.

Je remercie madame Vincent également pour l'importante bibliographie qu'elle a accumulée sur la biotechnologie et qui m'a été précieuse pour le présent travail.

Il va sans dire que le présent ouvrage n'engage que la responsabilité de l'auteur. L'analyse qui y est faite n'est pas nécessairement endossée par le Comité sur la formation en biotechnologie, non plus que par le Conseil des universités.

SOMMAIRE


CHAPITRE 1 LE SCENARIO DE DEVELOPPEMENT LE PLUS PROBABLE 5

1.1 DEFINITION DE LA BIOTECHNOLOGIE 6

1.2 BIOSCIENCES - BIOTECHNOLOGIES - BIOINDUSTRIES 9

1.3 LA PLANIFICATION 12

CHAPITRE 2 LE MARCHE DE L'EMPLOI 21

2.1 LE PREMIER VOLET; LE RECHERCHE DANS LES BIOSCIENCES 26

2.2 LE DEUXIEME VOLET: LE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE 40

2.3 LE TROISIEME VOLET: LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL 46

CHAPITRE 3 SCIENCE ET SOCIETE 52

3.1 SCIENCE ET DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE 54

3.2 LES RAPPORTS SCIENCE-POLITIQUE DURANT L'APRES-GUERRE 57

3.3 LA REMISE EN QUESTION DE LA SCIENCE 60

3.4 LE QUESTIONNEMENT SUR L'INTERDISCIPLINARITE 65

3.5 LES MODELES THEORIQUES DE L'INNOVATION 73

3.6 LA CRISE ECONOMIQUE DES ANNEES 70 ET LA NOUVELLE RELATION SCIENCE-SOCIETE 81

3.7 SCIENCE DE LA VIE ET SOCIETE 100

CHAPITRE 4 LES PROGRAMMES DE FORMATION EN BIOTECHNOLOGIE 110

4.1 BIOSCIENCES ET BIOINGENIERIES 111

4.2 BIOTECHNOLOGIE ET INTERDISCIPLINARITE 121

4.3 FORMATION ET TRANSFERT TECHNOLOGIQUE. 131

4.4 LA SITUATION ACTUELLE. 143

4.5 LES RELATIONS UNIVERSITE-INDUSTRIE. 146

CONCLUSION. 152

BIBLIOGRAPHIE. 160

## CHAPITRE 1

## LE SCENARIO DE DEVELOPPEMENT LE PLUS PROBABLE

En voulant intervenir dans le secteur de la biotechnologie, le Gouvernement du Québec s'inscrit dans un vaste mouvement international. Il importe de situer le Québec dans ce mouvement. Les rapports et textes de prise de position à cet égard sont nombreux. On en trouvera une liste en première partie de la bibliographie (1 à 17).

Les situations diffèrent évidemment d'un pays à l'autre, tant par le système d'éducation que par le développement de la bioindustrie ou par le degré d'intervention de l'état dans la recherche ou dans le transfert technologique, vers l'industrie, des résultats de la recherche. Néanmoins, si l'on excepte quelques prises de positions des premiers textes, on observe dans l'ensemble de ces rapports et de ces prises de position des convergences remarquables, des complémentarités fort utiles et très peu de jugements contradictoires, et ce, aussi bien au niveau de la planification du développement du secteur qu'au niveau des programmes de formation envisagés pour la main-d'oeuvre requise par ce développement. Nous

reviendrons d'ailleurs en 2.1 et en 3.7 sur les exceptions à cet égard.

De l'ensemble des textes les plus récents, on peut donc tirer ce que nous appellerons le scénario le plus probable de développement du secteur et auquel le Québec, compte tenu de sa taille et de ses moyens, ne peut se soustraire sans raisons péremptoires. Le "Programme d'Intervention" du Gouvernement du Québec (15) tient d'ailleurs largement compte de ce scénario et s'y insère tout naturellement.

## 1.1 DEFINITION DE LA BIOTECHNOLOGIE

Signe du foisonnement des activités qu'elle recouvre, la biotechnologie a reçu des définitions multiples qui reflètent "les centres d'intérêt et les idées préconçues de chacun", comme le font remarquer, p.5, les auteurs du rapport "Tendances internationales et perspective en biotechnologie" de l'OCDE (13). Nous reprendrons évidemment ici la définition qu'en donne le programme d'intervention (15), p.1:

> "La biotechnologie, c'est l'ensemble des méthodes et des procédés, des techniques, qui appliqués à des micro-organismes, des cellules animales ou végétales, ou des fractions de celles-ci, visent à réaliser, à produire des molécules nouvelles, des cellules nouvelles ou des organismes nouveaux. Il

s'agit, le plus souvent, en opérant à l'échelle cellulaire ou infra-cellulaire, d'obtenir des produits nouveaux, ou encore des produits déjà connus, mais par des voies nouvelles, de nature biologique, bioconversions ou biocatalyses."

Pour montrer la diversité des activités impliquées, le programme d'intervention emploiera par la suite l'expression "les biotechnologies", et identifie comme telles, p.15, génie génétique, génie enzymatique, biologie des fermentations, génie des fermenteurs, génie des extractions et des purifications, sélection des souches et culture des cellules.

L'utilité d'une définition se mesure autant à ce qu'elle englobe qu'à ce qu'elle exclut. Même si les auteurs du rapport de l'OCDE (13) ont retenu une définition formellement différente de celle qui apparaît ici, le paragraphe suivant de leur rapport, p.6, nous semble révélateur à cet égard:

"Dans le domaine de la santé, la biotechnologie ne touche qu'à la production de médicaments utiles, comme des antibiotiques, des vaccins et des anticorps, et n'englobe pas l'utilisation de ceux-ci dans les traitemen s médicaux. Elle ne comprend pas non plus les domaines de la technologie et du génie médicaux, que l'on désigne souvent sous le nom de génie biomédical (ou parfois de bio-ingéniérie). Nous partageons l'opinion (Biotechnology: a Dutch Perspective, p. 2 (9)) selon laquelle l'agriculture et l'amélioration génétique classique des animaux et des plantes cultivées ne sont en général pas considérées comme relevant de la biotechnologie. Il faut toutefcis prendre en compte certains aspects de ces activités, puisque les plantes fournissent les matières premières de la plupart des procédés biotechnologiques. En outre, par la production de

pesticides microbiens et par l'utilisation de techniques modernes de manipulation génétique pour obtenir in vitro des variétés nouvelles d'animaux et de plantes cultivées et pour améliorer les capacités de fixation de l'azote, la biotechnologie aura une profonde incidence sur l'agriculture à l'avenir."

Dans la même veine, nous semble tout à fait justifié le paragraphe suivant extrait du compte rendu (14) de l'étude du même rapport par les experts du Comité de la politique scientique et technologique de l'OCDE, p.4:

"Des définitions ne prenant en compte que les nouvelles méthodes scientifiques et technologiques furent également discutées et rejetées par la quasi-totalité des experts comme trop restrictives. Ils firent observer que la biotechnologie n'a pas débuté en 1974, lorsque le génie génétique devint possible, mais a existé et produit des résultats industriels satisfaisants longtemps auparavant. Il serait erroné d'écarter a priori les progrès continus réalisés et ce qu'ils ont signifié pour de nombreuses industries. Tous les experts furent d'accord pour ne pas inclure dans cette définition les méthodes médicales nouvelles issues des progrès récents de la génétique (ainsi la thérapeutique génétique n'est pas de la biotechnologie) et toute tentative pour déjà spécifier les sciences à inclure dans la biotechnologie doit être évitée car elle serait prématurée."

Même après avoir circonscrit le champ de la biotechnologie, il importe de réaliser que "la biotechnologie n'est pas une discipline mais un domaine d'activité" ... "Il ne s'agit pas d'une industrie mais d'une activité scientifique " ... "Il importe d'établir une distinction entre la biotechnologie elle-même et les activités sur lesquelles elle a une in-

cidence" (13), p. 4 et 5. Il est tout aussi important de faire cette distinction que de montrer les relations qui existent entre les trois volets de ce tryptique: biosciences, biotechnologies , bioindustries.

## 1.2 BIOSCIENCES - BIOTECHNOLOGIES - BIOINDUSTRIES.

Comme la plupart des autres rapports, OCDE (13), Spinks (3), Pélissolo (5), Brossard (6), le programme d'intervention (15) insiste, p.4, sur l'importance de considérer simultanément ces trois volets et leurs interrelations dans tout plan de développement:

> "Il doit être clair aussi que les biotechnologies font partie d'un ensemble, d'un système à trois volets, qu'on voudrait systémique, font appel en amont aux biosciences productrices de connaissances et, en aval, trouvent leur destination dans les bioindustries, lieux de production et de mise en marché, utilisatrices des savoirs et des savoir-faire des spécialistes de la bioingéniérie.
>
> Les biosciences, microbiologie, génétique, biologie moléculaire, biochimie, chimie organique, physiologie cellulaire, virologie, etc., constituent l'infrastructure cognitive de la pratique, du perfectionnement et des perçées en matière de biotechnologies. Elles constituent un complexe pluridisciplinaire au sein duquel doivent se profiler les itinéraires formateurs des nouveaux spécialistes. Leur qualité et leur vitalité conditionnent l'avenir; seule l'excellence de leur pratique peut garantir le succès et la portée de l'entreprise biotechnologique. On ne saurait donc exagérer l'importance de leur soutien.

> Les bioindustries, quant à elles, sont justement perçues comme la raison d'être d'un programme d'intervention en biotechnologies, au-delà de l'appui qu'il convient d'apporter aux recherches qui n'ont d'autre fin que l'avancement du savoir."

Même si les biotechnologies ne constituent que l'un de ces trois volets, elles ne peuvent exister en abstraction des deux autres et c'est dans l'ensemble des trois volets, ce que le programme d'intervention appelle "le secteur des biotechnologies au sens large", p.21, qu'il faut "que le courant passe", pour reprendre l'expression de Pélissolo (5), p.23, afin que le secteur biotechnologie puisse atteindre les objectifs socio-économiques qu'on lui assigne.

Il faut garder à l'esprit en effet, comme le fait remarquer le programme d'intervention, p.13, que, en fin de compte,

> "si les biotechnologies méritent soutien comme outil maintenant souvent essentiel, et souvent même comme objet, de la recherche fondamentale, ce sont néanmoins les retombées économiques possibles de leur utilisation qui justifient présentement le gros de l'attention que leur portent, à travers le monde, les pouvoirs publics."

Tout autant qu'une définition, ce sont donc les objectifs socio-économiques visés qui cernent la réalité biotechnologique que tous les gouvernements tentent présentement de mettre à profit.

Parmi les objectifs socio-économiques visés, le programme d'intervention cite sept filières, p. 4 et 5, et identifie pour chacune les produits et/ou réalisations envisagés:

"- produits biologiques ou pharmaceutiques: antibiotiques, vitamines, stéroïdes, insuline, somatostatine, hormone de croissance, interférons, vaccins de types nouveaux (sub-unitaires), etc;

- produits chimiques: substitution de la cellulose et de la lignine aux hydrocarbures (éthylène, aldéhydes, styrène, etc.); substitution de la voie enzymatique aux méthodes classiques de la catalyse en chimie fine;

- utilisation de la biomasse à des fins énergétiques;

- biotraitement des pollutions;

- révolution des techniques agricoles et horticoles par la mise au point génétique de nouvelles lignées, par la maitrise des processus de fixation de l'azote, par le développement des cultures végétales in vitro, des phéromones et de la physiologie végétale, par l'amélioration aussi des techniques de sylviculture;

- production de protéines d'organismes monocellulaires, susceptible de devenir rentable, selon l'évolution des prix des céréales et du soja, grâce à la vitesse de multiplication des micro-organismes;

- lixiviation des minéraux."

Cette liste est évidemment donnée "à titre indicatif". En effet, comme le fait remarquer Pélissolo (5), p. 19:

"De nombreux indices convergents font prévoir une mutation rapide, et l'émergence, dans les vingt prochaines années, de nouvelles activités économiques, fondées sur la domestication de la matière vivante au bénéfice de l'homme et de son environnement."

## 1.3 LA PLANIFICATION

Cette mutation se produira inéluctablement et le défi est de s'y préparer convenablement, tout en gardant à l'esprit qu'il s'agit d'un phénomène à long terme. Les prises de position à cet égard sont remarquablement convergentes et semblent dépendre très peu du contexte régional.

Nous pouvons, par exemple, transposer au Québec la conclusion que tire Pélissolo (5), p.21:

> "Trois conséquences résultent de cette prévision:
>
> - notre retard est rattrapable, car la grande course ne fait que commencer;
>
> - il faut nous préparer à un effort de longue durée, durant lequel la physionomie industrielle et commerciale risque d'être à plusieurs reprises profondément modifiée; il faudra donc en permanence ajuster les modes d'action et d'intervention à la situation;
>
> - il serait très imprudent de privilégier dès maintenant telle ou telle filière d'application (parmi les sept évoquées précédemment), car une grande incertitude règnera encore pendant quelques années sur les chances respectives de chacune.
>
> Ce ne sont pas forcément celles qui s'implanteront les premières qui seront, à terme, les plus importantes. On peut penser notamment que la chimie, domaine actuellement marginal pour la biotechnologie, sera dans vingt ans l'un de ses secteurs de prédilection.
>
> Toutefois, il est probable que les filières à haute valeur ajoutée, dans lesquelles le prix des matières premières interviendra peu, perceront, toutes choses égales d'ailleurs, les plus aisément."

Le rapport Stewart, commandité par la Royal Society de Londres, "Biotechnology and Education" (12), paru suite au rapport Spinks (3), va dans le même sens, tant au point de vue des filières d'application que des disciplines de base ou des techniques et souligne la nécessité, en tout état de faits, d'une préparation très polyvalente, en insistant sur la sensibilisation à l'aspect application industrielle, p. 4:

> "In the immediate future, the main activity will be research, followed closely by development. Research has necessarily to be undertaken initially by those educated and trained through existing courses. But there is yet time, albeit little, to improve the quality and quantity of training for those technologists and Technicians needed to meet the challenges of development and production, Education must be so modified as to ensure that it includes a fuller appreciation and understanding of the ways to identify and pursue commercial opportunities in biotechnology, indeed in all industrial technologies. In short, education should increasingly help develop business acumen. The precise direction biotechnology will take is not yet well defined. The education and training should, therefore, be toward a broadly-based developement and should avoid overemphasis of any specified discipline, technology or field of application, although the new critical thrust now imparted by the novel techniques of genetic manipulation merits full recognition."

Le livre blanc "Biotechnology" (7), publié par le gouvernement britannique suite au rapport Spinks (3), devant l'impossibilité de prévoir les développements spécifiques qui apparaîtront, préconise d'intensifier l'effort de recherche d'où sortiront les applications, p. 11:

"Biotechnology is one of a number of technologies that will be important in providing energy. materials, food, communications, and control mechanisms over the coming decades. Knowledge of the biological systems that can be imitated or simulated is itself growing fast,so that the scope for biotechnology is even more difficult to foresee than the future of technologies such as micro-electronics. But it is already clear that it will be pervasive. At this stage the need is to participate fully enough in fundamental and applied scientific research to understand all the possibilities, and to create the climate in which selective developement can be undertaken by those best able to perceive needs and assess the possibilities and risks. This will be the basis for the Government's policies on biotechnology."

Les experts du Comité de la politique scientifique et technologique de l'OCDE (14), chargés d'étudier le rapport "Tendances internationales et perspective en biotechnologie" (13), reprennent dans leur compte rendu les mêmes idées de planification à long terme, dans un secteur dont on ne sait pas comment il va évoluer, puisqu'il est entièrement tributaire des recherches de base, p.4:

"Aussi les gouvernements doivent-ils comprendre que l'échéance de développements importants peut être lointaine et se manifester dans des secteurs différents de ceux favorisés aujourd'hui. Par exemple, les nouveaux produits ou procédés issus dans le futur proche des techniques d'ADN recombinant sont vraisemblablement évidents et limités en nombre. L'impact à venir le plus significatif du génie génétique sera ressenti en recherche de base et en particulier dans une meilleure compréhension des mécanismes fondamentaux de certaines maladies. Ceci, simultanément avec l'accroissement des connaissances des séquences d'acides aminés ou d'enzymes permettra des changements révolutionnaires de procédés ou de productions biotechnologiques, mais pas avant dix

ans au moins. Aussi pour éviter un contrecoup dû aux espoirs erronés que certaines approches de "science-fiction" ne peuvent manquer d'engendrer, une évaluation de la biotechnologie doit prendre en compte non seulement les contraintes scientifiques et technologiques, mais aussi mettre l'accent sur les impacts économiques à long terme."

Pour bien montrer que non seulement on ne sait pas encore quels seront les résultats les plus intéressants, mais qu'on ne sait même pas d'où les attendre, ces experts avaient déjà dit précédemment, comme nous l'avons cité en 1.1:

"...toute tentative pour déjà spécifier les sciences à inclure dans la biotechnologie doit être évitée, car elle serait prématurée."

Les mêmes experts font, à propos des "petits pays" quelques remarques particulières qui sont tout un programme pour le Québec, p.5:

"Les problèmes des petits pays furent soulevés à cette occasion. Il fut mentionné que les mesures gouvernementales étaient particulièrement urgentes dans les petits pays, particulièrement pour accroître les liens industrie-université-pouvoirs publics en R-D, pour assurer le financement à long terme de la recherche fondamentale que la bio-industrie ne peut prendre en charge par suite de sa taille limitée, et pour encourager les contacts internationaux de recherche, en particulier pour la formation d'étudiants."

Les auteurs du rapport de l'OCDE (13) avaient déjà souligné l'importance de la recherche universitaire qui doit "être axée sur les problèmes fondamentaux" et dont les résul-

tats doivent être utilisés par l'industrie, p. 65:

> "La recherche dans le secteur de l'enseignement supérieur joue un rôle essentiel dans le développement de notre compréhension et de notre connaissance des principes scientifiques et techniques sur lesquels repose la biotechnologie et elle devrait être axée sur les problèmes fondamentaux. Il faut que ces connaissances soient transmises, si elle doivent être à la base de progrès scientifiques et techniques, d'une croissance économique et d'une amélioration du bien-être. La prospérité nationale dépendra, entre autres, de l'efficacité de l'échange d'informations et du couplage entre les groupes de recherche et l'industrie, ce qui constitue déjà une pratique bien établie dans plusieurs pays Membres de l'OCDE."

En conséquence, les auteurs du rapport insistent sur l'importance d'accroître le nombre de professeurs d'université travaillant dans les domaines pertinents à la biotechnologie, comme préalable à tout développement, p. 64:

> "Il y a une corrélation étroite entre le nombre d'enseignants qui se consacrent à la biotechnologie et le nombre d'étudiants que l'on peut former aux industries biologiques. Il s'ensuit que, même dans des circonstances économiques difficiles, il faut prévoir un personnel et des ressources en suffisance si on désire que la biotechnologie apporte une contribution significative au bien-être économique et social d'un pays."

Plusieurs autres rapports reprennent ce thème de l'accroissement nécessaire du nombre de professeurs d'université dans le secteur, Pélissolo (5), p. 5, Spinks (3), p.10, Stewart (12), p.26.

Cette reconnaissance de l'importance de la recherche fondamentale comme levier de développement de la biotechnologie s'accompagne de la non moins grande importance du transfert des connaissances vers les applications technologiques et, par voie de conséquence, de la nécessité d'intensifier les rapports université-industrie par des mécanismes appropriés. Ne citons à cet égard que le rapport Pélissolo (5), p. 45, qui nous semble représentatif à cet égard:

> "...il faut établir des passerelles larges et solides entre la recherche publique et l'industrie. Tout ce qui va dans ce sens doit être encouragé.
>
> Mais c'est à l'industrie de faire les premiers pas. La recherche publique ne doit pas sortir de son rôle en palliant les carences des entreprises, en faisant du "biberonnage".
>
> Il ne faut pas oublier que la biotechnologie ne s'imposera que par l'accroissement des rendements des processus. C'est là, pour l'essentiel, un travail d'industriel, pas de chercheur.
>
> La création de centres de transfert auprès des principaux organismes de recherche fondamentale est une bonne initiative; mais cela ne doit pas être pour l'industrie le prétexte à ne pas créer, en son sein, les nécessaires structures d'accueil aux résultats de la recherche."

Le rapport de l'OCDE (13) résume à la fin plusieurs des éléments de la planification en disant, p. 73:

> "Au chapitre I, nous avons tenté d'indiquer quels sont les types de progrès qui pourraient être réalisés dans les principaux domaines sur lesquels repose la biotechnologie. Ces progrès ne se concrétiseront pas tous, mais les chances de succès dépen-

dront dans une grande mesure de la volonté des pouvoirs publics de soutenir la recherche fondamentale relative à la biotechnologie et d'encourager l'exploitation de celle-ci par les entreprises industrielles."

Au total, toute planification de développement du secteur de la biotechnologie doit englober les trois volets, dans une perspective à longue échéance, sans s'attendre à en obtenir des retombées rapidement, et en laissant toutes les avenues ouvertes. La convergence des rapports et des prises de position au point de vue scénario de développement démontre à tout le moins que ce scénario est perçu comme étant le plus probable, ou du moins le plus souhaitable.

Il appert que ce scénario de développement est assez glabal, très large dans le choix des crénaux, favorise la recherche fondamentale dans l'ensemble des biosciences qui sont en amont des biotechnologies, cherche à établir le pont entre ces recherches et leurs applications industrielles, prend pour objectif le développement des industries susceptibles de faire appel aux biotechnologies, et finalement diffère à assez long terme les choix qui baliseront, et limiteront, le développement, et ce, aussi bien en terme de disciplines, de techniques, que de filières d'application.

Ce scénario implique des actions à court terme qui conditionneront tout l'avenir du secteur:

- l'intensification de l'effort de recherche,
- l'intensification des relations université-industrie,
- la formation de main-d'oeuvre qualifiée.

Les caractéristiques mêmes de ce scénario font qu'il est, en bonne approximation, transposable au Québec. D'ailleurs, comme nous l'avons déjà écrit au début de ce chapitre, le programme d'intervention (15), par les intentions qu'il annonce, s'insère sans dissonance aucune, dans l'ensemble des rapports et prises de position que nous avons cités. Pour le voir, il suffit de relire le chapitre 2: "Les lignes de forces", et plus spécifiquement les trois objectifs prioritaires de la page 15:

> " 1. le développement des ressources humaines, la formation et le perfectionnement des compétences biotechnologiques;
>
> 2. l'organisation et la facilitation du transfert et de la transformation des découvertes des laboratoires en innovations industrielles;
>
> 3. la mobilisation des moyens financiers requis pour soutenir le développement de ce programme d'intervention."

Le programme d'intervention, dans sa forme actuelle, concerne la phase I: 1982-1987. Une deuxième phase est déjà prévue pour laquelle il y aura lieu d'adjoindre au scénario général les spécificités québécoises qui seront apparues dans la poursuite de la première phase, tout en gardant à l'esprit

que les caractéristiques générales du scénario seront encore tout aussi valables durant la deuxième phase que durant la première. Les biosciences n'auront pas, en si peu de temps, fait des progrès tels que l'on puisse alors connaître l'avenir de la biotechnologie.

## CHAPITRE 2

## LE MARCHE DE L'EMPLOI

Nous avons discuté plus haut de la définition de la biotechnologie et nous avons vu ensuite comment elle s'insère dans un ensemble plus vaste, à trois volets, et finalement par quel scénario on pouvait envisager que cet ensemble puisse s'animer, s'articuler et s'orienter vers la production de résultats socio-économiques souhaitables.

Avant de parler de formation de main-d'oeuvre, il était essentiel d'identifier l'ensemble des activités pertinentes à la biotechnologie, pour éviter le piège de porter l'attention sur les seules techniques de la biotechnologie, au détriment de la recherche dont elles originent et des activités industrielles qu'elles doivent induire.

Lorsqu'on parle de biotechnologie, on parle évidemment d'un certain nombre de techniques prometteuses de solutions à beaucoup de problèmes importants; mais on parle aussi, et bien davantage souvent, de l'ensemble des activités que commande l'atteinte des objectifs socio-économiques visés,

c'est-à-dire l'ensemble des trois volets.

De la même façon, lorsqu'on parle de programmes de formation en biotechnologie, on pourrait se limiter à vouloir former des spécialistes, experts chacun dans l'une "des biotechnologies". Cette voie est généralement rejetée. En cours de préparation du rapport "Tendances internationales et perspective en biotechnologie" de l'OCDE (13), un groupe de travail déclarait déjà en 1981:

> "There is no clear profile yet of a "biotechnologist", and therefore no clarity on what a bio-engineering curriculum should contain or where it should be taught. It is probably still too early to formulate such a curriculum, and some have expressed strong doubts as to whether there should be a specific biotechnology curriculum at the university level at all." (Cité par le programme d'intervention (15), p.23.)

Dans la même veine, rappelons une citation que nous avons déjà faite du rapport Stewart (12), p. 4:

> "The precise direction biotechnology will take is not yet well defined. The education and training shoul therefore be toward a broadly-based development and should avoid overemphasis of any specified discipline, technology or field of application."

Les auteurs du même rapport ajoutent, p. 5:

> "We have therefore been concerned to identify educational and training needs as they relate to four main groups of persons:
>
> (1) Those people who will provide the basic skills, techniques and materials for industrial innovation

through their scientific and engineering research.

(ii) Those individuals whose role as professional engineers and technologists will be to translate new ideas into manufacturing processes and into economically viable products and services.

(iii) Those who, as Technicians and technical assistants, will operate, control and monitor such processes.

(iv) Those in finance, sales and marketing departments in industry; those in the worlds of investment, political decision-making, advertisement, publicity and public relations; potential customers and the public at large."

En prenant garde de ne pas traduire les mots littéralement, mais de les adapter à notre système d'éducation, on s'aperçoit que les trois premières rubriques correspondent aux trois volets énumérés précédemment. La quatrième rubrique correspond aux interactions du secteur biotechnologie, allant du secteur commercial et financier, au secteur politique et à l'ensemble de la société. Nous reprendrons ces dernières considérations au chapitre 3. Nous nous concentrerons pour le moment sur les volets correspondant aux trois premières rubriques, pour lesquels il convient de préparer une main-d'oeuvre adéquate, à l'aide de programmes et de modalités de formation qui pourront différer d'un volet à l'autre, selon les fonctions de travail.

Si on veut analyser les problèmes de formation de main-d'oeuvre en biotechnologie, c'est donc tout l'environne-

ment scientifique, technologique et industriel dans lequel prennent place les activités biotechnologiques qu'il faut considérer, de même que les types de fonctions de travail qui s'y retrouvent, pour pouvoir discuter des programmes de formation qui peuvent y préparer.

Comme il ne concerne que la première phase, le programme d'intervention ne décrit pas le marché de l'emploi qui devrait découler de la planification envisagée. Par contre, il évoque les activités actuelles dans les trois volets et affirme la nécessité d'un développement de ces activités. Ces prises de position ont une incidence évidente sur le marché de l'emploi et s'inscrivent par ailleurs tout-à-fait dans le courant de pensée qui prévaut dans les autres textes et rapports nationaux et internationaux lorsqu'ils traitent du marché de l'emploi découlant du scénario de développement envisagé.

Parce qu'il relève en partie d'activités nouvelles et en partie d'activités plus traditionnelles, le marché de l'emploi en biotechnologie est une réalité difficile à cerner. En ce sens, on peut parler de marché de l'emploi en émergence, et même en définition. Malgré ces difficultés, le marché de l'emploi demeure quand même le point de départ de toutes les considérations sur les programmes de formation. Nous devrons évidemment prendre comme point de départ la situation actuelle

et tenir compte des intentions de développement déjà énonçées dans le programme d'intervention, de même que du scénario de développement que nous avons vu au chapitre 1.

En fait la question se résume ainsi. Si on veut développer la biotechnologie, dans quels domaines doit-on prévoir des activités, et quel genre d'activités? Cette question se ramifie rapidement: ampleur du marché de l'emploi, sa structure, types de fonctions de travail qui en découlent, niveaux et types de formation requise, genre d'employeurs, lieux d'exercice des fonctions de travail, etc. C'est à ces divers égards que nous allons analyser les trois volets d'activité pour savoir si les types de fonctions de travail qu'ils nécessitent sont suffisamment spécifiques pour qu'il faille en tenir compte au niveau des programmes de formation.

L'existence de ces trois volets d'activité n'est pas spécifique à la biotechnologie. Le même schéma se retrouvera, avec des variantes, à l'occasion de tout transfert technologique. Tout en soulignant fortement les caractéristiques de la biotechnologie, il sera éclairant à l'occasion de faire le rapprochement avec des technologies plus anciennes et de voir si des transpositions partielles sont possibles.

## 2.1 LE PREMIER VOLET: LA RECHERCHE DANS LES BIOSCIENCES.

Comme premier type de fonctions de travail reliées à la biotechnologie, on doit penser à l'activité des chercheurs qui travaillent à faire progresser nos connaissances dans les disciplines d'où sont le plus susceptibles d'originer les applications biotechnologiques. A titre d'exemple, le programme d'intervention (15) énumère, p. 4, microbiologie, génétique, biologie mcléculaire, biochimie, chimie organique, physiologie végétale, physiologie cellulaire, virologie, etc.

On retrouve évidemment dans cette liste les disciplines qui ont déjà contribué de façon significative aux découvertes les plus importantes en biotechnologie, mais on y retrouve également des disciplines que les experts considèrent comme les plus susceptibles dans l'avenir de déboucher sur des applications biotechnologiques de haut intérêt.

Nous avons attiré l'attention, au début du premier chapitre, sur certaines différences entre les premiers rapports et les rapports plus récents. L'une de ces différences porte précisément sur les biosciences que l'on met de l'avant comme alimentant la biotechnologie. Dans le rapport de Rosnay (2) et dans le rapport Spinks (3), l'importance accordée à la microbiologie est telle qu'elle laisse dans l'ombre les autres

biosciences susceptibles de conduire à des applications biotechnologiques.

Historiquement, la biotechnologie est évidemment une extension de la microbiologie industrielle et c'est dans ce domaine qu'ont eu lieu les premières réalisations. Aussi bien de Rosnay que Spinks voient donc,comme avenir immédiat pour la biotechnologie, l'utilisation industrielle des connaissances acquises récemment en microbiologie, entre autres le génie génétique. L'un et l'autre proposeront d'ailleurs, de façon tout-à-fait autocohérente, la mise sur pied de programmes spécifiques de premier cycle en bioingéniérie, pour répondre aux besoins de main-d'oeuvre dans le secteur. Nous reviendrons sur ce point des programmes de formation au chapitre 4.

Ces deux rapports, il importe de le souligner, ne se limitent pas aux possibilités biotechnologiques des microorganismes, mais mettent l'accent sur les retombées économiques les plus immédiates que l'on peut attendre de la biotechnologie. Il sera intéressant, au chapitre 3, de rapprocher ce fait de l'évolution qui se produisait parallèlement dans les schémas de politiques scientifiques des différents pays.

Pélissolo (5) semble avoir été le premier à insister fortement sur les autres possibilités qui s'ouvraient.

Dans la biotechnologie actuelle, les micro-organismes, et par conséquent la microbiologie, sont prépondérants. Cette voie demeurera toujours très importante et il ne faut surtout pas la négliger. D'autres s'y ajouteront cependant auxquelles il faut se préparer et qui font appel aux cellules d'organismes supérieurs (5), p. 13.

Dans la même veine, les auteurs du rapport de l'OCDE insisteront sur le fait que, malgré son importance, le génie génétique microbien n'est pas toute la biotechnologie et que de surcroît, même en génie génétique, les réalisations les plus importantes résulteront des découvertes à venir, p.4,(13).

De ces constatations, ces rapports concluent qu'il faut envisager pour le secteur une planification à long terme, et non pas espérer des retombées à court terme. Cette prise de position allait devenir la norme dans les rapports ultérieurs et donner naissance au scénario que nous avons vu au chapitre 1. Les conséquences de ce changement d'optique sont très importantes au niveau des programmes de formation, comme nous le verrons au chapitre 4. Elles sont également très visibles au niveau de l'importance relative des trois volets d'activités. La recherche fondamentale dans les biosciences devient le préalable à l'essor du secteur. Ce ne sont plus tellement les découvertes acquises qu'il faut exploiter, c'est sur les découvertes à venir, celles qu'on ne connaît pas encore,

qu'il faut tabler.

Dès lors, on voit s'ouvrir l'évantail des biosciences dont on peut attendre des rétombées intéressantes, et simultanément on voit reculer les échéances des retombées. L'évantail s'ouvre au point que, comme nous l'avons déjà rapporté, le comité d'experts chargé d'étudier le rapport de l'OCDE (14) dit,p. 4:

> "Toute tentative pour déjà spécifier les sciences à inclure dans la biotechnologie doit être évitée car elle serait prématurée."

Le rapport Stewart (12) reprend le même thème, p.4, de même que le livre blanc du gouvernement britannique (7), p.11.

Ces énonçés impliquent une intensification des activités de recherche dans l'ensemble des biosciences, ce qui amènera une double démarche en parallèle:

- identification des points forts qu'il faudra continuer à soutenir,
- identification des lacunes qui pourront constituer des goulots d'étranglement et qu'il faudra combler,

pour arriver au total à une couverture au moins minimale des biosciences, si on veut profiter de ce que deviendra le secteur de la biotechnologie.

Au niveau des lacunes à combler, une partie de la

démarche est déjà faite par les rapports cités, lorsqu'ils indiquent les domaines qui ont été négligés un peu partout. Par exemple, suite à l'analyse faite dans le rapport de l'OCDE (13), le comité d'experts(14) proposera, p. 6, des priorités générales en R-D qui

> "traduisent des limitations et des contraintes des systèmes R-D presque partout (...)
>
> - physiologie et génétique végétales,
> - physiologie microbienne,
> - étude d'organismes nouveaux et atypiques,
> - génie biochimique."

Outre ces lacunes générales, il faudra déceler celles qui sont spécifiques au Québec. On prendra naturellement comme point de départ à cet égard, parmi les travaux de l'Opération Sciences fondamentales, ceux qui portaient sur le développement des sciences biologiques dans les universités du Québec. Les biosciences que l'on associe à la biotechnologie ne sont pas toutes en sciences biologiques, mais elles y sont centrales.

Dans un premier temps, l'OSF (18), p. 499 et ss, mettait en relief les interfaces entres les sciences biologiques et les nombreux secteurs d'application faisant appel aux sciences biologiques, santé d'une part, ressources renouvelables d'autre part, comme agriculture, alimentation, médecine

vétérinaire, foresterie. L'OSF notait alors que de nombreux domaines des sciences biologiques étaient progressivement passés dans le giron des champs d'études correspondant aux divers secteurs d'application, ou s'étaient tout simplement détachés de l'ensemble, au détriment du développement des sciences biologiques elles-mêmes et de sa cohérence, au détriment également de la contribution propre qu'elles ont à apporter au niveau fondamental comme au niveau appliqué. Le rapport conclut, p. 503:

> "Ainsi la situation d'ensemble en est une d'effritement progressif des sciences biologiques qui se replient sur elles-mêmes et se retranchent dans les quelques champs qui leur restent spécifiques. La biologie humaine est pratiquement toute en sciences de la santé, la biochimie s'inscrit comme discipline quasi-autonome, la microbiologie tend à se détacher, la biophysique affirme sa présence, la zoologie et la botanique appliquées appartiennent déjà aux ressources renouvelables, alors que le dossier de sous-secteur de l'OSF en sciences biologiques fait état de pas moins de vingt-six orientations et profils dans les programmes de premier cycle.
>
> Il y a là clairement une situation à réévaluer, d'autant plus que l'on peut s'interroger sur les ouvertures disponibles pour les abondantes clientèles actuellement en formation. Même si on ne peut pas renverser une évolution qui s'est faite progressivement et en réponse à des besoins, une nouvelle stratégie s'impose pour assurer le développement des sciences biologiques, fournir une contribution significative aux nombreuses interfaces et assurer aux futurs diplômés une solide formation de base qui leur donne accès à toutes ces voies possibles."

Pour corriger la situation, l'OSF (18) proposait cinq objectifs, p. 511:

" 1. assurer le développement des sciences biologiques fondamentales dans une optique de concertation des efforts et des ressources;

2. favoriser les regroupements susceptibles d'assurer une contribution significative des sciences biologiques aux grands domaines d'activités;

3. identifier et développer les champs de spécialisation et les domaines d'application spécifiques aux sciences biologiques;

4. identifier les champs de spécialisation et les domaines d'application qui sont conjoints avec d'autres secteurs et les développer en collaboration avec ces derniers;

5. assurer une solide formation de base au premier cycle à tous les étudiants et y associer une bonne maîtrise des méthodes quantitatives."

Il s'agissait essentiellement pour les sciences biologiques de faire preuve d'autonomie et de dynamisme pour assurer une couverture adéquate de leur champ propre et assumer elles-mêmes la planification de leur développement, dans une perspective de collaboration avec les autres disciplines et champs d'études connexes.

Huit ans plus tard, il faut admettre que cette analyse et ces objectifs ont gardé toute leur pertinence. Le déplacement d'activités vers d'autres disciplines ou vers les champs d'études connexes s'est peut-être même accentué. Ce mouvement n'a rien de mauvais en soi. A cause des moyens mis en oeuvre, il a même permis de développer de façon importante certains domaines des sciences biologiques, certains même au niveau fondamental.

Par contre, à l'égard de l'ensemble des sciences biologiques, ce développment s'est fait de façon parcellaire, selon les objectifs propres des autres disciplines ou champs d'étude à l'intérieur desquels il se faisait, et n'a pas favorisé un développement cohérent et intégré de l'ensemble des sciences biologiques fondamentales et de leurs champs d'application spécifiques, non plus que de véritables collaborations des sciences biologiques avec les secteurs connexes.

Que l'on réalise par exemple que de nombreux enseignements de biologie fondamentale dans les départements de sciences biologiques sont assurés par les professeurs des facultés professionnelles oeuvrant dans les champs d'application biologiques. Que l'échange se fasse dans ce sens à l'occasion constitue une saine économie de moyens, si la faculté en question, compte tenu de ses activités professionnelles prioritaires, a pu quand même développer des activités fondamentales de qualité dans ce domaine. Par contre, si on généralise cette façon de faire, on appauvrit singulièrement les départements de sciences biologiques et on doit s'attendre à un développement des sciences biologiques fondamentales très variable d'un domaine à l'autre, déterminé parfois aussi par les grands courants de la recherche scientifique moderne, mais toujours par les besoins de formation professionnelle et les applications connues.

Encore une fois, pour reprendre les mots de l'OSF, il n'est pas question de "renverser une évolution qui s'est faite progressivement et en réponse à des besoins", mais on aurait pu espérer que, si on leur en donnait la possibilité, les départements de sciences biologiques puissent s'insérer activement dans cet ensemble complexe et jouer leur rôle dans la génération et la transmission des connaissances fondamentales et jouer également leur rôle au niveau du transfert des connaissances en collaboration avec les unités oeuvrant dans les champs d'études correspondant aux grandes filières d'application des sciences biologiques.

Alors que l'OSF reconnaissait que le développement des autres sciences fondamentales ne tenait pas assez compte du transfert et des applications des connaissances scientifiques, les sciences biologiques constituaient un cas à part, où le développement avait été trop exclusivement tributaire des applications et s'était largement fait en dehors des départements de sciences biologiques, sans que ces derniers jouent leur rôle d'intégration et de complémentarité pour harmoniser ce développement.

Au total, si on regarde aussi bien en sciences biologiques proprement dites que dans les secteurs professionnels où on en fait, on arrive à un tableau général présentant des pointes de développement et des lacunes pour l'ensem-

ble des sciences biologiques.

Sur une échelle relative, la microbiologie est un exemple de développement intéressant, aussi bien au niveau fondamental qu'au niveau appliqué. C'est évidemment la conséquence de l'intérêt que présente la microbiologie pour le secteur santé. Mais même dans ce cas, nous retrouvons la lacune généralisée soulignée par l'OCDE concernant la physiologie microbienne.

A l'autre extrême, la biologie végétale, si elle a connu et connaît toujours des développements certains concernant la systématique et l'écologie végétale, est par contre un exemple de sous-développment marqué dans les aspects afférents à la physiologie et à la génétique. Certains aspects en ont été développés dans une perspective d'application en foresterie, en agriculture, etc, mais de façon forcément fragmentaire et dans l'optique méthodologique de ces champs d'études. Au total cependant, les assises fondamentales de la biologie végétale sont nettement déficientes au Québec. Encore ici, nous retrouvons des lacunes déjà soulignées par l'OCDE, mais cette fois à un degré probablement encore plus marqué.

En 1974 (19), le "Dossier de sous-secteur sciences biologiques de l'OSF" insistait sur ce sous-développement et ses conséquences, autant dans les programmes de premier cycle

p. 74, que dans les études avancées et la recherche, p. 184. L'auteur ajoutait:

> "Nous croyons que, pour les besoins du Québec, il est impérieux de combler ce déficit."

Si un tel énonçé était pertinent en 1974, alors que les biosciences étaient loin d'être un enjeu politique, qu'en dire maintenant?

Dans la même veine, la mycologie mériterait aussi de recevoir plus d'attention. Cette discipline est également fragmentée par les champs d'applications, mais aussi entre les disciplines. Les champignons, qui ne sont ni bactéries ni plantes, ont leur physiologie et leur génétique propres, et ils sont susceptibles d'un grand nombre d'applications biotechnologiques.

Dans l'évantail des biosciences dont on escompte des retombées biotechnologiques, il faut évidemment compter, en dehors de nombreux domaines des sciences biologiques comme telles, la biochimie et une partie de la chimie. C'est donc dans un ensemble assez vaste qu'il faut que le Québec s'assure une présence en recherche dans les directions les plus riches,au point de vue fondamental,des développements récents, directions qui ne sont pas systématiquement les plus près des applications immédiates, mais qui font partie de l'ensemble

des activités auxquelles il faut donner priorité si on veut que présente quelque chance de succès le "programme d'intervention pour le développement de la recherche en biotechnologies au Québec" (15).

Le texte même du programme d'intervention l'affirme d'ailleurs sans équivoque à l'aide d'un exemple et en fait immédiatement un principe général, p. 9:

> "C'est ainsi que certaines biotechnologies, telles par exemple les manipulations génétiques en recherches virologiques, visent non pas la production industrielle de biens, mais l'avancement d'une recherche très fondamentale sans application prévisible pour le moment. Pourtant il arrive que ce sont ces milieux très fondamentalistes qui, dans certaines circonstances, offrent les conditions d'apprentissage d'une des nouvelles techniques. Ainsi, précisément à propos du génie génétique, ce sont des équipes de recherche biomédicale fondamentale qui, au Québec, ont poussé peut-être le plus loin l'expertise et qui offrent ainsi une base formation pour ceux qui voudraient maîtriser la technique même à des fins très appliquées. Il découle de là qu'exclure de l'inventaire certains des chercheurs des biosciences parce que leur usage des biotechnologies demeure complètement étranger aux applications, c'eut été amputer notre démarche d'une base d'information et d'action essentielles."

Les activités dans ce premier volet sont donc essentiellement des activités de recherche, qui génèrent d'une part l'expertise en biotechnologie et d'autre part les découvertes biotechnologiquement intéressantes.

Ces activités prennent place dans des établissements

universitaires et dans des centres de recherche reliés aux organismes d'état, aux universités ou à l'industrie. Au Québec, l'université est prépondérante dans ce volet: c'est là une caractéristique qu'il faudra constamment garder à l'esprit.

Dans la situation actuelle au Québec, les employeurs dans le premier volet seront donc les universités et les centres de recherche. Les effectifs de la main-d'oeuvre dans ce volet seront déterminés par les budgets des universités et des centres de recherche, compte tenu des choix institutionnels de développement, et par les subventions accordés aux chercheurs individuels, aux équipes et aux centres de recherche par les organismes subventionnaires généraux (FCAC, CRSNG, CRM) ou spécifiques (les fondations, etc). Il faut ajouter ici certaines subventions en provenance de l'industrie, de types contrats, commandites ou consultations.

Les activités, dans ce premier volet, sont très inégalement développées au Québec, selon les disciplines. Le programme d'intervention (15) le constate dans les termes suivants, p. 17:

> "Comme on l'a dit plus haut, malgré que l'inventaire des ressources existantes ait décelé un potentiel sérieux, il s'en faut que le Québec dispose déjà de la masse des chercheurs qu'appelle le développement des biotechnologies et des bioindustries au Québec. En fait, même en amont, il n'est pas évident que dans nos universités chacune des disciplines dont les

biotechnologies requièrent le concours dispose déjà d'un effectif suffisant de chercheurs de haut niveau et soit en mesure d'assurer une formation de qualité."

En guise de conclusion à l'étude du marché de l'emploi dans ce premier volet, on ne peut que réitérer, avec le programme d'intervention, p. 17, la nécessité d'un développement des ressources humaines en recherche, dans une optique d'excellence:

> "Une entreprise de développement des ressources humaines doit ici viser non seulement l'accroissement du personnel spécialisé en biotechnologies mais, simultanément, la poursuite résolue d'un niveau d'excellence de qualité internationale. Dans un domaine aussi compétitif que celui des biotechnologies et où les enjeux économiques seront décisifs à moyen terme, nous nous devons de nous interdire toute complaisance et de refuser de composer avec la médiocrité. Les mesures visant la croissance du nombre de chercheurs se doubleront donc d'un "encouragement sans équivoque à l'excellence et au dépassement"."

Plus loin, p. 23, le programme d'intervention ajoute qu'il faut, au plan de la formation:

> "D'abord assurer au Québec des enseignements de qualité dans toute la gamme des disciplines requises pour former la diversité des spécialistes que requerront le développement de la recherche biotechnologique et la mise en oeuvre bioindustrielle."

En fait, les deux démarches sont fortement couplées. Notre système qui associe étroitement enseignement et recherche englobe évidemment dans le premier volet ceux qui font de la recherche dans les biosciences et ceux qui seront les formateurs,

dans une large mesure, des effectifs de main-d'oeuvre requis pour le développement du secteur.

On doit donc prévoir au Québec une intensification des activités d'enseignement et de recherche dans les sciences en amont des biotechnologies et par conséquent la nécessité de former plus de main-d'oeuvre pour le premier volet.

Il va se soi qu'un niveau d'activités élevé dans ce premier volet n'assure pas nécessairement le transfert des découvertes vers les applications biotechnologiques. Il en est cependant le préalable. Sans découvertes, il n'y a pas d'objet de transfert. Sans expertise dans les domaines en amont des biotechnologies, on ne peut pas espérer résoudre les problèmes biotechnologiques.

## 2.2 LE DEUXIEME VOLET: LE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE.

Une fois l'expertise acquise et une fois faite une découverte potentiellement intéressante au point de vue biotechnologie, il faut passer à l'étape suivante, celle du transfert technologique, ce que nous avons appelé le deuxième volet. Pour ce volet, on doit penser à la formation des chercheurs qui travailleront à appliquer les connaissances acquises dans

les disciplines nourricières de la biotechnologie pour développer de nouvelles techniques biotechnologiques ou modifier les techniques existantes en réponse à des besoins socio-économiques. Les fonctions de travail dans ce volet du transfert technologique exigeront donc que l'on ait développé chez le chercheur, tout autant l'expertise dans l'un ou plusieurs des domaines en amont des biotechnologies, qu'une préoccupation plus immédiate des besoins socio-économiques et une aptitude à juger des possibilités d'une découverte à donner lieu à une application intéressante à cet égard.

Dans le premier volet, il y avait lieu d'identifier les domaines des sciences qui présentent de l'intérêt pour le développement de la biotechnologie. La démarche parallèle dans le deuxième volet consistera à identifier les filières d'application dans lesquelles sont susceptibles d'être effectués des transferts technologiques des connaissances et des découvertes acquises dans le premier volet.

C'est évidemment la nature même des processus vitaux qui indique les types d'application possibles. Les organismes vivants sont de véritables usines qui métabolisent des matières premières et fournissent d'innombrables substances. L'intérêt technologique des processus vitaux peut résider tout aussi bien:

- dans la biosynthèse, c'est-à-dire dans les substances obtenues elles-mêmes,
  - considérées comme produits finis en soi: antibiotiques, alcool, stéroïdes, par exemple,
  - ou utilisées pour opérer des transformations ultérieures, comme les enzymes,
- dans les organismes vivants eux-mêmes ou leurs constituants, considérés comme produits finis: levure, semences améliorées, protéines, par exemple,
- dans la biodégradation de substances indésirables que l'organisme métabolise: effluents industriels par exemple.

Soit en intervenant au niveau des conditions physico-chimiques dans lesquelles vit l'organisme, soit par sélection de souches, soit par modification génétique, on peut modifier les trois éléments de ce schéma, au point de vue vitesse, efficacité ou productivité, et même les modifier qualitativement: obtention de nouvelles substances, obtention également de nouveaux organismes qui pourront encore une fois être intéressants en soi comme produits finis ou être aptes à produire ou à métaboliser de nouvelles substances.

Les possibilités d'application sont extrêmement variées comme on le voit et peuvent même être couplées. Les substances produites par un organisme peuvent servir de matière première à un autre, comme dans la symbiose micro-orga-

nisme-plante. Ou encore les substances produites par un organisme peuvent servir à contrôler la croissance d'une autre espèce; lutte biologique aux insectes, par exemple.

Dans cet ensemble, compte tenu de ce que nous vu en 1.3, on ne peut, à ce point-ci, qu'énumérer à titre indicatif les filières dont les experts pensent qu'elles sont les plus prometteuses, sans pouvoir porter de jugement sur les chances respectives de chacunede donner des résultats intéressants. Dans tous les rapports, on envisage à peu près les mêmes filières; ce sont celles que reprend le programme d'intervention (15), p, 2 (et que nous avons citées en 1.2), aussi bien qu'en p. 15, où on insiste précisément sur le fait qu'il ne faut pas faire de choix à ce moment-ci:

> "A ce stade cependant, il serait imprudent que le Québec ne développe pas de compétences dans chacune des grandes filières susceptibles d'applications biotechnologiques: la santé, l'agriculture et la foresterie, l'agro-alimentaire, l'énergie, la chimie, le traitement des pollutions. Le gouvernement appuiera donc des présences de recherche dans chacun de ces domaines et, au besoin, les suscitera."

On ne saurait non plus, p. 15, faire de choix parmi les biotechnologies elles-mêmes:

> "Enfin le développement de la recherche et sa valorisation par les bioindustries exigeront des compétences dans toutes les biotechnologies: génie génétique, génie enzymatique, biologie des fermentations, génie des fermenteurs, génie des extractions et des purifications, sélection des souches et culture des

cellules. Le gouvernement s'assurera de la formation et du perfectionnement de compétences dans chacune de ces biotechnologies, toutes essentielles aux fins que nous poursuivons."

Les filières d'application énumérées présentent de l'intérêt tout autant pour les secteurs industriels primaire et secondaire, que pour le secteur tertiaire, c'est-à-dire les services, par exemple santé ou environnement. Pour comprendre les mécanismes qui fixent le niveau d'activité dans ce volet, il importe de réaliser que c'est l'industrie, au sens large, qui est le moteur des activités dans ce volet. C'est elle qui détecte les besoins, recherche les découvertes pouvant donner lieu à des applications et développe la production.

Il existe évidemment, dans certaines filières d'application, des activités de transfert technologique en milieu universitaire, quand la tradition ou la mission des établissements d'y prêtent. Ces activités cependant se font généralement en étroite collaboration avec les industries ou avec les services. Les activités dans ce volet prendront donc place dans les laboratoires des industries et des services mais également dans les laboratoires universitaires et ce, dans des proportions très variables selon les filières d'application considérées, et évidemment selon le degré de développement relatif de la recherche universitaire et de la re-

cherche dans les industries ou dans les services.

Au Québec, l'infrastructure de recherche industrielle est faible. Les activités bioindustrielles ne font pas exception à cet égard. Surtout si on se limite aux développements récents, ceux pour lesquels on a inventé le mot biotechnologie, on constate qu'il existe très peu de laboratoires de recherche ayant des activités bioindustrielles dans les secteurs primaire et secondaire. Il est bien évident, qu'au Québec, l'industrie ne joue que très faiblement son rôle de moteur des activités dans ce volet.

A quelques exceptions près, c'est donc dans les laboratoires de recherche reliés aux services, surtout de santé, et dans certaines universités qu'on retrouvera des activités de transfert biotechnologique. Dans notre système, les premiers sont souvent affiliés aux secondes, et en conséquence les mécanismes d'établissement des effectifs de main-d'oeuvre dans le deuxième volet seront au total pratiquement les mêmes que dans le premier volet.

Il est bien évident que cette structure d'activités pour le deuxième volet est paradoxale. Le volet du transfert technologique se développe par l'industrie ou à tout le moins sous son impulsion. Or, au Québec, l'industrie y est très peu présente. On retrouvera donc, dans le deuxième volet

comme dans le premier, la présence prépondérante de l'université et des centres de recherche qui lui sont affiliés.

On peut par contre espérer que cette situation de quasi-exclusivité de l'université dans le volet du transfert technologique évolue, à mesure que la bioindustrie sera en mesure de prendre la relève en partie. De toutes façons, les activités dans ce volet, au niveau universitaire comme au niveau industriel, et plus probablement en collaboration université-industrie, sont appelées à croître. La volonté politique est très claire à cet égard. Le programme d'intervention (15) déclare par exemple, p. 31:

> "Malgré leur intérêt certain pour le développement de la recherche, les biotechnologies retiennent surtout l'attention du fait du champ des possibilités industrielles qu'elles ouvrent. C'est dire qu'un programme d'intervention pour le développement de la recherche biotechnologique se doit d'attacher une attention toute particulière aux liaisons à assurer entre la recherche et l'innovation, entre le laboratoire et la production industrielle."

## 2.3 LE TROISIEME VOLET: LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL.

Ces considérations sur la faiblesse de la structure industrielle au Québec nous ont évidemment amenés au coeur du troisième volet d'activité qui est l'objectif socio-économique

de toutes les activités biotechnologiques: le développement industriel des techniques et la production elle-même. Ce sont-là les activités propres de l'industrie qui seule peut les entreprendre.

Nous avons déjà souligné la faiblesse de la recherche bioindustrielle au Québec. Il y existe cependant des activités bioindustrielles relativement importantes. Elles ne font pas toutes appel aux développements récents de la biotechnologie, loin de là, mais il est important d'essayer d'en cerner l'ensemble, puisque ce sont là des activités qui sont potentiellement susceptibles d'y faire appel.

D'autre part, si on pense à former de la main-d'oeuvre pouvant travailler en biotechnologie, il n'est pas sans intérêt de penser qu'une partie des débouchés pour cette main-d'oeuvre sera précisément dans les activités bioindustrielles, même celles qui ne font pas appel aux développements récents de la biotechnologie mais qui pourront éventuellement y faire appel si la chose s'avère économiquement intéressante et si la main-d'oeuvre est qualifiée.

Les activités bioindustrielles au Québec sont réparties très inégalement dans les diverses filières d'application énumérées plus haut. En terme de chiffre d'affaire, l'agro-alimentation occupe évidemment la première place. Il suf-

fit de penser à l'utilisation des fermentations pour obtenir bières, vins, cidres, dérivés du lait, etc. La filière santé présente également une importance certaine, compte tenu de la plus grande valeur ajoutée: production de vaccins, antibiotiques, etc. Il faut également ajouter à cet ensemble les activités reliées au contrôle ou à la production des animaux et des végétaux: agriculture, horticulture, sylviculture. Il n'y a évidemment pas seulement les activités bioindustrielles actuelles qui sont susceptibles de faire appel à la biotechnologie. D'autres activités sont également susceptibles de le faire. Que l'on songe aux nombreuses activités industrielles qui peuvent se faire par voie biotechnologique ou autrement: traitement des eaux usées, traitement des minerais, utilisation de la biomasse, lutte aux insectes, etc. Au sujet des possibilités bioindustrielles du Québec, on consultera le rapport du groupe interministériel du gouvernement du Québec sur les bioindustries (20), particulièrement la rubrique "Les potentiels bioindustriels québécois", p. 31.

Au total, les possibilités sont là, mais le marché de l'emploi dans ce troisième volet est donc largement potentiel, même si c'est vers ce volet qu'est dirigé tout le programme d'intervention. Il y a cependant lieu de tenir compte, ici comme dans le reste du secteur, de la très nette volonté politique de développement, affirmé dans le programme d'inter-

vention, par exemple en p. 10:

> "Malgré quelques centres industriels déjà actifs, la principale carence identifiée, c'est la faiblesse actuelle de l'infrastructure bioindustrielle au Québec. Au vrai, des signes se manifestent déjà d'un intérêt nouveau et marqué pour la R-D biotechnologique, mais il est certain que des initiatives décisives devront être prises pour l'animer et le soutenir. A cet égard, il importe de le noter, la situation québécoise n'est pas très différente de celle du reste du Canada. En Colombie-Britannique, en Alberta, en Ontario, comme nous l'avons mentionné précédemment, on a déjà commencé à passer aux actes; s'il veut se tailler une place, le Québec ne saurait lui non plus différer ses engagements."

Les fonctions de travail dans ce volet comprennent évidemment toute la chaîne industrielle et vont du développement des procédés de fabrication jusqu'à la production et à son contrôle. C'est le lieu d'exercice des sciences appliquées et de la technologie. Comme dans toute industrie, on y retrouvera du personnel formé en sciences fondamentales et du personnel formé en ingénierie. Pour tenir compte de la nature même des activités, il s'agira dans ce cas-ci de biosciences et de bioingénieries.

... ...

C'est donc pour les activités de l'ensemble de ces trois volets qu'il faut prévoir la formation de main-d'oeuvre qualifiée dont l'importance est centrale, comme l'indique le programme d'intervention (15), p. 17:

"Toutes les études conduites ces dernières années, aussi bien en France, qu'en Allemagne de l'Ouest, en Grande-Bretagne, ou au Canada s'accordent pour souligner que le manque de personnel qualifié risque fort de constituer un véritable goulot d'étranglement qui, au-delà des investissements, ralentira le développement des biotechnologies ou des bioindustries. La formation de la main-d'oeuvre spécialisée revêt ici, plus qu'ailleurs, un caractère capital pour la survie, à long terme, d'une industrie biotechnologique majoritairement autochtone."

Les fonctions de travail pour lesquelles il faudra prévoir des programmes de formation comprennent donc:

- la recherche fondamentale dans le large évantail des biosciences pouvant mener à des découvertes intéressantes au point de vue biotechnologie et assurant du même coup l'expertise dans ces biosciences. Dans notre système, la fonction recherche sera fortement associée à la fonction de formation de spécialistes pour une grande partie du secteur.
- Le transfert technologique, par lequel on travaillera à appliquer, en réponse aux besoins socio-économiques, les connaissances acquises dans les disciplines nourricières de la biotechnologie, recherche appliquée et développement.
- La mise en oeuvre industrielle, où on utilisera ces applications au niveau de l'industrie et des services, production et contrôle.

Il est bien évident qu'on ne pourra prévoir les be-

soins quantitatifs de main-d'oeuvre dans chacun des trois volets d'activité avant que ne soient prises les mesures qui détermineront le niveau et le type d'activités dans chacun des volets. Il est non moins évident, par contre, qu'avant tout développement, il faudra avoir formé la main-d'oeuvre nécessaire. Il faut donc garder à l'esprit que nous nous engageons dans un processus évolutif où la main-d'oeuvre permettra l'accroissement des activités et où l'accroissement des activités permettra de mieux établir, par rétroaction, les besoins de main-d'oeuvre.

# CHAPITRE 3

## SCIENCE ET SOCIETE

Nous avons vu au chapitre 1 le scénario de développement le plus probable pour le secteur biotechnologie, à la lumière des rapports nationaux et internationaux sur le sujet. Ce développement origine des recherches de base dans les biosciences et aboutit, par le transfert technologique, à la croissance des bioindustries. Nous avons vu au chapitre 2 le marché de l'emploi qu'appelle le développement des trois volets du secteur conformément à ce scénario.

Il s'agit maintenant de voir, de façon opérationnelle, comment l'ensemble du secteur, de la recherche de base jusqu'à la production industrielle, peut s'articuler et réaliser les objectifs socio-économiques que l'on fixe au secteur. Ce problème de l'orientation des activités scientifiques vers des domaines potentiellement intéressants, et de la circulation des découvertes scientifiques de l'université jusqu'à l'industrie, n'est pas spécifique à la biotechnologie. Il apparaît dans toutes les technologies de pointe. Et même, de façon plus générale, c'est le problème fondamental de l'orientation

des activités scientifiques vers les besoins socio-économiques, c'est-à-dire des interactions science-société.

De nombreux énoncés de planification du premier chapitre et les actions qu'elles impliquent au niveau du marché de l'emploi pourront paraître fortement découplés des grandes interrogations qui ont prévalu durant la décennie 70. Entre autres, l'espèce "d'acte de foi" dans la possibilité pour la recherche de base de susciter le développement économique d'un secteur peut paraître d'un autre âge.

De même, et probablement encore davantage, les programmes de formation que proposent les rapports pour préparer à ce marché de l'emploi laisseront sur leur appétit ceux qui auraient voulu voir mises en pratique les hypothèses séduisantes d'éclatement des disciplines et de renouvellement des programmes universitaires, en les axant sur l'intégration des connaissances par les problèmes étudiés et les objectifs socio-économiques poursuivis, plutôt que sur les savoirs préorganisés et les méthodologies partielles des disciplines.

Il sera nécessaire, dans un premier temps, de revoir l'évolution des concepts et des attitudes dans ces domaines pour comprendre comment les rapports sur la biotechnologie en sont venus à proposer la planification que nous avons vue au premier chapitre et à recommander les programmes de forma-

tion que nous analyserons au chapitre 4. Dans l'un et l'autre cas, les rapports auront eu précisément à trouver des réponses concrètes et opérationnelles à nombre de questions posées depuis plus d'une décennie. En fait, nous verrons que les solutions proposées par les rapports, tant au niveau de la planification du secteur qu'à celui des programmes de formation, ne sont pas nouvelles mais qu'elles ont fait l'objet d'un choix parmi le très grand nombre d'hypothèses de solution qui ont été suggérées depuis la fin des années 60.

Il faudra, dans cette analyse, tenir un compte particulier du rôle de l'université au niveau des programmes de formation et au niveau des activités de recherche, étant donnée l'importance de l'université dans le secteur biotechnologie.

## 3.1 SCIENCE ET DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE

Aussi bien au niveau des programmes de formation qu'à celui du développement économique, c'est évidemment le volet du transfert technologique qui fait problème dès qu'on envisage le rôle de la science dans une politique de développement économique. On a fait beaucoup de recherche et d'expérimentation sur les structures, les conditions et les pro-

grammes de formation qui permettraient aux activités de ce volet de se développer.

Le problème n'est pas nouveau; son importance politique par contre est plus récente et s'insère dans l'évolution contemporaine des rapports science-société, que Gros, Jacob et Royer (1) résument de la façon suivante, p. 15:

> "Les années 60 ont vu se développer des sciences triomphantes qui ont connu des avances spectaculaires. Pendant les années 70, on a assisté, dans la plupart des pays occidentaux, à une vigoureuse mise en question de la science, de ses applications et de ses bienfaits. Pour les années 80 paraît s'esquisser une conception de la science plus utilitaire, plus directement dirigée vers l'étude de problèmes intéressant la société, ses ressources, son économie"

Les études dans ce domaine ne sont pas à ce point développées qu'elles puissent indiquer des moyens sûrs pour orienter l'activité scientifique de recherche et d'enseignement dans des directions prédéterminées. On peut cependant identifier assez facilement trois facteurs qui orientent le développement des sciences: la dynamisme interne des disciplines, les nouveaux besoins d'application tels que perçus par les usagers des sciences (essentiellement les employeurs de scientifiques) et finalement les besoins de la société en général, dont les énonçés politiques des gouvernements sont une expression privilégiée. Ce sont les trois facteurs que Gros, Jacob et Royer nomment de façon lapidaire: la curiosité

le profit et les besoins. Les derniers siècles de l'histoire des sciences montrent des exemples de prépondérance de l'un ou l'autre de ces facteurs et de la façon dont ils ont joué.

Si on laisse les scientifiques choisir spontanément leurs sujets de recherche (dont les résultats s'intégreront ensuite aux programmes de formation), ils iront vers des objets évidemment nouveaux, qui posent des problèmes de plus en plus difficiles certes, mais qui sont de même nature que ceux qui ont déjà été étudiés. Et ce, dans une démarche visant ultimement à compléter le tissu disciplinaire, à en combler les lacunes. A la longue, les solutions trouvées s'intégreront alors tout naturellement au savoir déjà acquis et lui donneront davantage de cohérence et d'étendue.

Que ce développement spontané de la science aille dans le sens de l'approfondissement de la discipline et qu'il s'accompagne pour le chercheur de rémunération et de prestige n'a rien de surprenant ni de scandaleux. Les scientifiques ont la même psychologie et les mêmes besoins que les autres.

Que ce développement spontané non seulement ait agrandi le champ des connaissances mais qu'il ait eu par surcroît des retombées socio-économiques intéressantes, même si elles n'étaient pas recherchées comme telles, l'histoire le montre abondamment.

En plus du mécanisme interne que nous venons de voir, l'histoire montre que le développement des sciences a également obéi à des sollicitations externes. Rappelons par exemple les interactions très intimes entre la recherche universitaire et le développement industriel dont l'Allemagne et la Suisse ont donné des exemples depuis longtemps déjà et dont les USA et le Japon ont repris le modèle. Rappelons également les contributions de la science aux efforts de guerre des différents pays.

Les retombées de ces activités n'ont pas toutes été, loin de là, dans le domaine ni dans le sens souhaités par les commanditaires. Il y a eu suffisamment pourtant de retombées jugées intéressantes pour que l'on veuille tirer profit de l'activité scientifique de façon encore plus systématique.

## 3.2 LES RAPPORTS SCIENCE-POLITIQUE DURANT L'APRES-GUERRE

De là est née la "Science Policy", que l'on a traduit en français par Sociopolitique des Sciences, dont on s'accorde généralement à dire qu'elle apparaît suite à la seconde guerre mondiale. L'effort de recherche sans précédent qui venait d'être fait à des fins militaires avait eu évidemment des retombées importantes dans le domaine stratégique, mais aussi des applications civiles nombreuses. Les gouvernements ont

dès lors voulu mettre à profit la recherche scientifique dans la réalisation des objectifs nationaux. Les USA ont joué un rôle de premier plan à cet égard. Un des principaux responsables de la politique scientifique américaine de l'immédiat après-guerre écrivait (Bush, (21), p.13) à propos de la recherche fondamentale:

> "It creates the fund from which the practical applications of knowledge must be drawn. New products and new processes do not appear full-grown. They are founded on new principles and new conceptions, which in turn are painstakingly developed by research in the purest realms of science."

C'est sur la base du rapport Bush qu'allait être mise sur pied la National Science Foundation (Salomon, (22), p.49).

Le modèle d'interactions science-technologie-société prôné par Bush était celui qui prévalait traditionellement chez les scientifiques depuis fort longtemps et fut admis sans discussion. Les sciences fondamentales, par les recherches de base, génèrent des découvertes. La recherche appliquée (le développement) transforme ces découvertes en innovations technologiques dont la diffusion aboutit à la fabrication et à la mise en marché de nouveaux produits ou à l'utilisation de nouveaux procédés.

Les pays industrialisés ont emboité le pas. Il en est résulté le développement des sciences que l'on connaît et qui a culminé,d'après Salomon (22), de 1957, lancement

du premier Sputnik, à 1968. Les sciences fondamentales ont alors choisi, avec l'accord des universités, des industries, des corps politiques et des organismes subventionnaires, d'accroître leur richesse intérieure, en postulant que des retombées intéressantes en résulteraient inévitablement. L'effort a été coûteux mais extrêmement profitable: les progrès ont été prodigieux.

Pourtant, à la fin des années 60, le modèle traditionel d'interactions science-technologie-société, que l'on n'avait jamais remis en question, est pour la première fois soumis à des tentatives de vérification, à l'occasion de trois études faites pour le compte du gouvernement américain, dont on trouvera une description par exemple dans Layton, qui résume la situation en écrivant (23), p. 206:

> "They present radically different pictures of the sources of technological development. Project Hindsight attributed technological growth to mission-oriented engineering R&D;TRACES found the mainspring of technological progress in basic scientific research; the Charpie Panel of the Department of Commerce stressed the continuing importance of the individual inventor and the small firm. It is not surprising that these studies led to opposing conclusions on government policy toward technology."

Nous aurons l'occasion de revenir, en 3.5, sur ces modèles d'interactions science-technologie-société.

## 3.3 LA REMISE EN QUESTION DE LA SCIENCE.

Ces remises en question du modèle traditionnel de l'innovation technologique en "discovery push" auraient pu avoir une influence sur les politiques scientifiques. D'autres événements auront des effets autrement considérables à cet égard. Salomon décrit (22), p. 55 et ss. la période 1968 - 1973 et ses effets sur les politiques scientifiques. 1968 correspond à une prise de conscience mondiale du coût social et environnemental de la croissance économique comme objectif de société. C'est le rejet de la société de consommation; halte à la croissance; on parle de société de conservation.

Cette remise en question a été un phénomène multiforme, diffus et très général, qui débordait évidemment de beaucoup les activités scientifiques. La science allait cependant être englobée dans le mouvement de contestation par les associations qu'on lui reprochait avec la guerre (la guerre froide se terminait, la détente est-ouest s'amorçait enfin) et par l'incitation qu'elle constituait à la croissance économique qui avait amené la détérioration de l'environnement naturel et social. On parlait de l'inféodation de la science aux

impérialismes militaro-industriels.

Sous la pression sociale, les gouvernements voudront alors redéployer l'effort de recherche et l'utiliser comme un des moyens d'atteindre des objectifs socio-économiques spécifiques. Au total, on demande à la science de se préoccuper davantage de l'homme et de son milieu que de découvertes scientifiques, du mieux-être social que de progrès technologique comme tel. On souligne le paradoxe qu'il y a, dans une société d'abondance, à éprouver des problèmes comme la détérioration des conditions de vie, l'état chaotique du développement urbain, les difficultés de transport, la pollution, la menace à l'écologie des systèmes naturels, etc.

Après que d'aucuns eurent rendu la science responsable de tous ces maux, on en vint à faire appel à elle pour les résoudre, mais dans une perspective nouvelle: la science devait s'orienter et s'appliquer à la recherche de solutions concrètes aux problèmes sociaux. Et c'est en fonction de l'analyse de l'ensemble des retombées, aussi bien positives que négatives, y compris les coûts sociaux et environnementaux, du développement technologique que l'on se mit à considérer la recherche scientifique. L'évaluation technologique, "technology assessment", était érigée en système. Il restait évidemment à voir, en pratique, comment utiliser la recherche scientifique dans ce contexte. C'est de ces années de remise en question

de la science que date le rapport Brooks (OCDE, (24)) qui allait tenter de répondre à cette question.

Dans le jugement qu'il porte sur la décennie 60, le rapport Brooks insiste sur la distinction à faire entre science et technologie, par exemple p.50:

> "Certes, il est vrai que la science fondamentale exige un degré élevé d'autonomie interne quant aux décisions la concernant, si l'on veut qu'elle progresse de manière satisfaisante. Au cours des années 60, on a eu tendance à conférer cette même autonomie interne à la technologie, en espérant que les sous-produits de la technologie servant à des missions nationales profiteraient également à d'autres objectifs sociaux."

Les différences que souligne le rapport entre le degré d'autonomie à laisser à la science d'une part et à la technologie d'autre part impliquent selon les auteurs une différence fondamentale dans la façon de planifier les deux types d'activités, comme ils le soulignent plus loin, pp. 51 et 52. Si en sciences, la planification consiste essentiellement à choisir comme domaines de recherche ceux qui sont les plus prometteurs au regard des besoins, la planification devrait pouvoir aller beaucoup plus loin et être beaucoup plus sélective en technologie. Ils explicitent plus loin, p.61, les rapports science-technologie dans la poursuite d'un objectif, en commentant les progrès technologiques déjà réalisés dans le passé:

> "Le succès n'est pas uniquement imputable aux méthodes de gestion mises au point à cet égard; il tient gé-

> néralement au fait que les objectifs étaient clairs et nets, et que les connaissances fondamentales nécessaires étaient pour l'essentiel disponibles, ou que l'on disposait en tout cas d'une compréhension théorique suffisante pour savoir où chercher ces connaissances. S'il y a une leçon à tirer de l'expérience passée, c'est qu'avoir des missions claires, plus une base scientifique ayant atteint le degré de développement requis, constitue sans doute les deux facteurs essentiels du succès technologique, et qu'en général un objectif technologique bien défini peut généralement être atteint, si l'on a assez d'argent et une offre suffisante en personnel de haute qualité."

La clarté des objectifs est essentielle, mais elle n'est pas suffisante, particulièrement dans le cas des problèmes complexes auxquels la société se heurte, si, p.63:

> "l'état des connaissances ne suffit même pas à nous permettre de préciser ce que nous ne savons pas, donc de définir la recherche qui nous le ferait trouver, et à plus forte raison de mettre au point les remèdes nécessaires."

Les auteurs admettent que, dans les cas urgents, il faudra procéder de façon empirique, sans les connaissances de base, malgré les risques élevés d'échecs. Sauf dans ces cas d'exceptions cependant, c'est sur les connaissances de base qu'il faut fonder la planification, et ils insistent sur le fait, p.77, que les politiques scientifiques ne sauraient être les mêmes tout au long de la filière, pourtant continue, qui va"de la recherche pure jusqu'à la mise au point de prototypes".

La voie proposée par le rapport Brooks ne ralliera

pas l'opinion générale, ni du côté des progressistes, ni du côté des conservateurs.

Salomon, que l'on ne peut guère qualifier de radical dans le contexte d'alors, admettra (25), pp. 21 et ss, que la planification en recherche de base ne peut guère dépasser les choix de domaines à subventionner, et que la différenciation serait souhaitable entre la phase fondamentale de la recherche et la phase appliquée au point de vue planification. Mais il fait ressortir, outre la difficulté d'établir une distinction fonctionnelle entre les deux phases, que même s'il est "pur" dans l'esprit du chercheur et

> "quelle que soit sa prédication de neutralité, le travail de recherche est un maillon du système industriel organisé pour l'exploitation des connaissances ... ... le problème que pose la science n'est plus seulement celui des fins qu'elle se donne, mais celui des fins qu'elle sert."

C'est tout le problème de la responsabilité sociale du scientifique que Salomon posait ainsi. Sur l'analyse que fait Salomon du rapport Brooks, on consultera (22), pp. 58 et ss.

A l'autre extrême, Herzberg (26), comme d'autres chercheurs scientifiques, repoussera toute tentative de planification du choix des sujets de recherche.

> "The only real criterion whether or not a certain basic research proposal should be carried out is

whether it is scientifically significant and whether the proposer is competent", p.3.

"The main point is ... to find and support good scientists. They are in a far better position to select their research topics than anyone else and, in particular, select topics which are at the time ripe for successful investigation", p.4.

Herzberg soulignera, en prenant le contre-pied des opinions courantes dans les corps politiques (le rapport Lamontagne (27) venait de paraître), que la planification, même en science appliquée et en technologie, se heurte à des difficultés telles qu'on puisse mettre en doute son utilité. Il ajoute, p.5:

"If there is such uncertainty at the development stage, how can one expect at the much earlier stage of basic research to predict its usefulness?"

## 3.4 LE QUESTIONNEMENT SUR L'INTERDISCIPLINARITE.

Dans un contexte de prises de positions aussi contradictoires sur la planification des activités scientifiques, apparaîtront également les interrogations sur l'interdisciplinarité. Les deux problèmes sont en effet, à certains égards, liés l'un à l'autre. Comment allait-on aborder l'étude des problèmes sociaux complexes, que l'on cherchait à résoudre en tenant compte de toutes leurs implications, alors que ces problèmes dépassaient largement le cadre traditionnel des disci-

plines? Comment allait-on former le personnel qualifié pour résoudre les problèmes existants, et encore davantage ceux qui ne se poseraient que plus tard?

Ces problèmes, parmi d'autres, ont fait l'objet du rapport Michaud (OCDE, (28)) sur l'interdisciplinarité. Ce rapport est en grande partie en dehors de notre propos, mais il a tellement imprégné toute la réflexion sur le sujet, de façon souvent globale, voire confuse et même naïve, qu'il est essentiel de faire ressortir au moins les distinctions qu'il souligne.

Cette naïveté, le rapport la souligne à l'occasion de l'analyse des réponses obtenues aux questionnaires préliminaires au rapport, p. 72:

> "Affirmation "naïve" qu'une formation à une pratique interdisciplinaire doit être nécessairement une formation interdisciplinaire,
>
> qu'un enseignement interdisciplinaire conduit nécessairement à une recherche interdisciplinaire,
>
> que l'augmentation de la motivation à la productivité intellectuelle se traduit immédiatement par une augmentation de cette productivité."

Cette naïveté d'approche ne disparaîtra pas avec la présentation du rapport, tant s'en faut. L'ouvrage est très riche, mais, étant donné sa facture et la nature du sujet, il ne prétend en aucun façon à la cohérence entre ses différents

auteurs. Il contient d'ailleurs plus de questions que de réponses et constitue essentiellement une invitation à poursuivre l'étude. Il est révélateur à cet égard que le rapport ne contienne pas de recommandations, "faute d'un temps suffisant" dit-on p, 15, mais "à cela il faut ajouter, pour être parfaitement honnête, qu'il aurait été difficile d'arriver à un consensus sur un sujet si controversé."

Ceux qui ont, depuis lors, voulu s'inspirer de ce rapport pour faire évoluer l'enseignement et la recherche auront donc dû faire eux-mêmes le pont entre la démarche du rapport et l'action concrète, et faire également des choix dans le foisonnement d'idées qu'il contient, en ayant bien présente à l'esprit la distinction qui revient en leitmotiv dans le rapport entre les trois plans sur lesquels se posent les problèmes.

Le rapport pose en effet le problème de l'interdisciplinarité de façon très générale. Il identifie, p. 73, trois plans, "celui de l'unité du savoir, celui de l'unité de la pratique (professionnelle ou non) et celui de l'unité de la personne ou du sujet". La conclusion reprend, p. 294, cette distinction sur l'interdisciplinarité:

> "Elle se présente chez beaucoup comme réponse à une triple protestation: contre un "savoir en miettes", pulvérisé entre une multitude de spécialités où chacun s'enferme comme pour fuir la véritable connais-

sance (ne serait-ce pas plutôt, l'illusion du savoir?); contre un divorce croissant entre une université de plus en plus cloisonnée et la société, la "vraie vie" perçue comme un tout, complexe et indissociable, mais simultanément contre cette société elle-même dans la mesure où elle limite l'individu à une fonction étroite et répétitive et l'aliène en l'empêchant de développer toutes ses virtualités et toutes ses aspirations; enfin contre le conformisme et les "idées reçues"

Pour aborder ces questions, le rapport propose une terminologie indiquant le degré d'intégration des disciplines, p. 23:

"- multidisciplinaire: Juxtaposition de disciplines diverses, parfois sans rapport entre elles, mathématiques et histoire.

- pluridisciplinaire: Justaposition de disciplines plus ou moins voisines dans des domaines de la connaissance, mathématiques et physique.

- interdisciplinaire: Interaction existant entre deux ou plusieurs disciplines: cette interaction peut aller de la simple communication des idées jusqu'à l'intégration mutuelle des concepts directeurs, de l'épistémologie, de la terminologie, de la méthodologie, des procédures, des données et de l'organisation de la recherche et de l'enseignement s'y rapportant.

- transdisciplinaire: Mise en oeuvre d'une axiomatique commune à un ensemble de disciplines."

Il faut avouer que l'usage de cette terminologie, et surtout des nuances qu'elle implique, ne se sont guère répandus depuis.

L'étude de l'interdisciplinarité sur le plan de l'unité du savoir est évidemment une démarche épistémologique. Le rapport évoque, p. 71,

> "la nostalgie de l'unité du monde, la globalité absolue de l'objet, l'aspiration à retrouver derrière la fragmentation scientifique, la globalité confuse du vécu initial."

Dans ce contexte, l'interdisciplinarité apparaît comme un outil de réunification du savoir, pp 295 et ss., dont l'instrument privilégié serait la mathématique. Il s'agirait donc de l'étude de la grande démarche séculaire qui, d'un savoir unique, passe par un émiettement des domaines d'étude, mais qui devrait, par l'interdisciplinarité d'abord, puis par la transdisciplinarité ensuite, revenir à la cohérence et ne plus former à nouveau qu'un seul système (une mégadiscipline) basé sur une"axiomatique générale", p. 108.

Au plan de la pratique, les raisons de développer l'interdisciplinarité sont d'un autre ordre et seront, de nature, fortement découplées du discours épistémologique. Michaud reconnaît, p. 296,

> "qu'il y a lieu de faire appel à des démarches différentes selon qu'on est dans le domaine de la théorie ou dans celui de l'application."

Il poursuit en ajoutant qu'il y aurait même lieu de faire des distinctions, au point de vue interdisciplinarité, entre "les sciences exactes et les sciences humaines".

Sur ce plan de la pratique, il s'agit essentiellement de répondre aux besoins de la société par la recherche

et par la formation de personnel qualifié. "Les problèmes de plus en plus complexes que pose une société en pleine mutation exigent une concertation interdisciplinaire", p. 295. Cette intégration des disciplines "en fonction des véritables problèmes ainsi que des besoins de la société", p. 298, doit être distinguée, d'après les auteurs, de l'interdisciplinarité provenant, p. 80, "de la dynamique interne des disciplines et de la structure de la recherche". La première sera identifiée comme interdisciplinarité restrictive et la seconde comme interdisciplinarité structurale, p. 296.

L'interdisciplinarité structurale pourra agrandir le champ d'une discipline par ajouts d'éléments extérieurs, ou aboutir à la création d'une nouvelle discipline: biochimie, biologie moléculaire. L'interdisciplinarité restrictive est celle qui est commandée par la pratique dans un domaine qui déborde les cadres d'une discipline.

Au plan de la personne, l'interdisciplinarité apparaît comme une façon pour chacun de faire, à son niveau, une synthèse des connaissances et de l'approprier à ses besoins, au lieu de recevoir un "savoir préélaboré", p. 74. Elaboration par chacun de son propre cheminement de formation, en vue d'une plus grande "mobilité de l'emploi", p. 47, dans un contexte où l'on va jusqu'à dire que "la notion même de profession,

donc de préparation à un métier, devient de plus en plus imprécise", p. 200.

De cette étude de l'interdisciplinarité, les auteurs du rapport tentent de tirer des conséquences sur l'organisation de l'université et des programmes universitaires. Le rapport constate, p. 295, que, "alors que la pluridisciplinarité est plutôt une pratique d'enseignement, l'interdisciplinarité est d'abord et essentiellement une catégorie scientifique; elle concerne avant tout la recherche".

Après avoir insisté sur le fait que l'interdisciplinarité est "une pratique individuelle d'abord", le rapport ajoute, p. 297:

> "L'interdisciplinarité ne s'apprend pas, elle s'exerce. Elle est le fruit d'un entraînement continu, d'un assouplissement systématique des structures mentales. En ce sens, elle peut apparaître de plus en plus aujourd'hui comme la condition essentielle d'une véritable recherche scientifique.
> Mais,pratique individuelle, l'interdisciplinarité est aussi, et peut-être plus encore, une pratique collective. Il tombe sous le sens, qu'au niveau de la recherche, aucune confrontation solide entre les disciplines ne pourra se faire sans le concours actif de représentants hautement qualifiés de chacune d'elles. Encore faut-il que ceux-ci soient ouverts au dialogue, capables de reconnaître ce qui leur manque et ce qu'ils peuvent recevoir d'autrui. Cette ouverture ne s'acquiert qu'à la longue et dans le travail en équipe interdisciplinaire, qui devrait devenir la règle au niveau de l'initiation à la recherche et être également instauré au niveau de l'enseignement."

La façon d'insérer l'interdisciplinarité dans les programmes universitaires donne lieu à des prises de position irréductibles, comme le constatent les auteurs du rapport, p. 54. Pour certains, l'interdisciplinarité ne saurait intervenir avant la maîtrise ou le doctorat, après une formation de base homogène, reposant sur une méthodologie unique. Pour d'autres, c'est la formation initiale qui doit être interdisciplinaire. Après une formation initiale très large, l'étudiant pourra entreprendre sa spécialisation au niveau des études avancées. Pour quelques-uns enfin, l'interdisciplinarité doit être présente tout au long de la formation, elle est de la nature même du savoir.

Il faudra donc garder à l'esprit que les différents tenants de l'interdisciplinarité pourront en avoir des conceptions très différentes et surtout tirer de leurs conceptions des conclusions diamétralement opposées quant à l'évolution souhaitable de l'enseignement et de la recherche. Et que chacun pourra, en toute bonne foi, se prévaloir du rapport Michaud.

En terminant, il importe de réaliser que si, sur le plan de l'unité du savoir, l'interdisciplinarité peut constituer un objectif en soi, elle devient un moyen sur les autres plans. Moyen pour mieux répondre aux objectifs socio-économiques sur le plan de l'unité de la pratique. Moyen pour abou-

tir au "plus être" de la personne sur le plan de l'unité du sujet.

Qui dit moyens, dit moyens parmi d'autres ...et choix ...et optimisation des choix. Il n'y aura pas, au point de vue interdisciplinarité, de solution générale, et les solutions particulières ne pourront être utiles que dans des situations concrètes.

## 3.5 LES MODELES THEORIQUES DE L'INNOVATION.

Nous venons de voir que l'activité scientifique avait été remise en question au point de vue de l'orientation qu'on a voulu lui donner vers des problèmes concernant davantage l'homme et son milieu, ainsi qu'au point de vue structuration des connaissances et de ses effets sur l'enseignement et sur la recherche.

Cette remise en question s'étendait également au rôle de la science dans l'innovation. La conception que l'on se fait de ce rôle aura évidemment une influence profonde sur les politiques scientifiques et sur la formation à donner aux scientifiques.

Nous avons déjà indiqué, à la fin de 3.2, que, déjà avant les mouvements de contestation de la science, on avait commencé à remettre en question le modèle traditionnel des interactions science-technologie-société en "discovery-push" ou "research-push".

Le projet TRACES (23), p. 207, prétendait avoir vérifié expérimentalement le modèle traditionnel selon lequel un secteur d'activité se développait au niveau économique sous l'influence des découvertes faites en recherche de base auxquelles on trouvait des applications intéressantes (le transfert technologique). Les sciences appliquées effectuaient le développement nécessaire permettant de préciser les conditions d'utilisation de la nouvelle technologie et du passage du niveau laboratoire au niveau production industrielle.

Le projet Hindsight (23), p. 206, quant à lui, prétendait prouver que la technologie elle-même serait le premier moteur de l'innovation. C'est le "technology push" amené par la R-D en ingénierie "mission-oriented". Cette hypothèse amènera à considérer que science et technologie sont deux entités largement découplées. Contrairement à ce que laisse supposer le modèle précédent, la technologie ne serait pas de la science appliquée. La technologie aurait une existence autonome, profitant bien sûr , entre autres, des découvertes des sciences de base, mais donnant naissance à des spécialités comme

les ingénieries, la médecine clinique, l'agronomie, et autres pratiques technologiques, avec leurs principes intégrateurs différents de ceux des sciences de base et leur corps de connaissances, plus ou moins abstraits, mais englobant généralement des réalités plus complexes.

Un troisième modèle, issu du "Charpie Panel" (23), p. 206, prône que la source majeure de l'innovation provient de l'accumulation des inventions ponctuelles, en réponse à des besoins, souvent faites par des autodidactes sans formation ni en science de base ni en ingénierie, ce qui vérifierait l'adage: "la nécessité est la mère de l'invention". C'est le "market pull".

Ces trois modèles ont été développés, rappelons-le, à l'époque où l'objectif était la croissance économique. A mesure que les objectifs évolueront vers des problèmes sociaux, on substituera souvent à "market pull" des expressions plus générales comme "demand pull" ou "need pull". Ce dernier modèle s'insérait évidemment très bien dans les nouvelles préoccupations, avec un couplage total entre l'innovation et les besoins. Dans le modèle en "technology push", ce couplage peut aussi être très fort, si l'on s'assure que la R-D en ingénierie s'oriente bien vers les missions qu'on lui assigne. Dans ce cas, ce modèle est également en "demand pull".

Dans le modèle en "discovery push", il y avait à l'o-

rigine un découplage total entre les recherches de base et l'identification des besoins à satisfaire. La recherche devait être libre, c'est-à-dire n'obéir qu'à la dynamique interne de la discipline, et aboutissait par hasard à des découvertes pouvant mener à des innovations utiles. Dans le cas contraire, on avait agrandi le champ des connaissances, ce qui était considéré comme un acquis en soi, et ce qui pourrait ultérieurement avoir des retombées utiles. Cette position devenait socialement (et politiquement) indéfendable. Cette situation est bien décrite par ce qu'on pourrait appeler le paradoxe de Weisskopf, (29), p. 146:

> "Science cannot develop unless it is pursued for the sake of pure knowledge and insight. But it will not survive unless it is used intensively and wisely for the betterment of humanity."

Une partie des problèmes provenait en fait des schémas de référence que constituaient les modèles conceptuels et qui étaient tous d'un simplisme extrême. Dans les trois modèles, comme le fait remarquer Layton (23), p. 204, la démarche était perçue comme essentiellement linéaire, alors que la réalité est certainement plus complexe et qu'à tout le moins il faudrait tenir compte des boucles de rétroactions qui existent tout au long du processus.

Par exemple, tout le rapport Brooks (24) cherche à montrer, sans le modéliser, qu'en orientant les travaux de re-

cherche de base vers les domaines les plus prometteurs, on peut espérer obtenir des retombées intéressantes statistiquement plus nombreuses que si la recherche de base est laissée entièrement libre. Cette rétroaction des besoins sociaux sur la dynamique de développement des sciences est d'ailleurs déjà apparente dans la politique scientifique de plusieurs pays, dès les premières années de la décennie 70.

Jacques Sevin (30) dira en parlant de la France, p. 6:

> "Le VIe Plan, qui couvre la période 1971-1975, a été élaboré au moment où se dessinait une nouvelle perspective pour la politique de la recherche."

Il résume plus loin, p. 9, la stratégie du Plan concernant la recherche de base et la recherche appliquée:

> "Progression modérée (au taux moyen de l'enveloppe-recherche) et continue des recherches de base" qui bien que "des objectifs précis ne peuvent être par définition assignés à ce type de recherche," subissent "une inflexion prioritaire" et doivent s'orienter vers les "disciplines en cours de développement dont les prolongements relèvent directement de la dimension socio-économique de la recherche.
>
> Progression très rapide des recherches qui participent directement à l'amélioration des conditions et du cadre de vie, notamment en permettant de réduire certains effets négatifs du développement économique."

La même tendance se manifestera au Québec (31). Au plan canadien, le rapport Lamontagne (27), p. 151 par exemple, retiendra de cette tendance la nécessité de réallouer les fonds

disponibles, de la recherche de base davantage vers les activités plus appliquées et axées vers le développement technologique. A la limite, les pouvoirs publics auraient pu aboutir par cette voie à ne subventionner que des recherches appliquées, et en autant que les objectifs visés étaient conformes aux priorités nationales. Camille Limoges (32), p. 60 évoque cette possibilité:

> "Une conjoncture, qui n'est nullement impensable, dans laquelle les ressources fédérales et québecoises seraient toutes deux canalisées principalement, même pour un temps court, vers des priorités d'ordre appliqué, entraînerait pour la recherche fondamentale des conditions extrêmement pénibles."

Cette conjoncture ne s'est pas réalisée et les politiques scientifiques ont continué à miser sur l'orientation des recherches de base et sur l'accroissement des recherches appliquées.

La poursuite des recherches sur les modèles d'innovation montra, au début des années 70, qu'il ne suffisait même pas de tenir compte des boucles de rétroaction, importantes, dans chacun des modèles; il fallait se rendre compte qu'aucun des trois modèles, même modifié, ne rendait compte de la réalité. Freeman (33) décrit l'évolution de la pensée durant cette période. Les modèles sont trop simples. Ils ne tiennent pas compte, p. 232, de la difficulté, l'impossibilité dans certains cas, de faire la distinction entre recherche de base

et recherche appliquée, distinction qu'utilisaient pourtant toutes les politiques scientifiques. Ils ne tiennent pas compte non plus de l'importance,dans l'innovation,de la taille de l'entreprise, p. 250; les grandes entreprises ont davantage tendance à assimiler les innovations venant d'ailleurs, plutôt qu'à en faire. La décennie 70 allait montrer l'importance de ce facteur dans nombre d'entreprises de haute technologie. Enfin, ce qui est probablement encore plus important, il apparaissait de plus en plus que les trois modèles contenaient chacun des éléments valables et qu'ils n'étaient d'ailleurs pas mutuellement exclusifs. On peut très bien imaginer en effet que les découvertes de la recherche de base, les progrès technologiques et les besoins de la société puissent jouer simultanément; les sources de l'innovation apparaissent multiples, (33), p. 251:

> "To introduce a new product or process the firm must often obtain knowledge from many different sources: from customers, suppliers, universities, public laboratories, competitors, licensers and so forth."

Dans la même veine, Layton (23) écrira, p. 205:

> "In-depth, historical case studies often reveal overlapping and interactions between social and technical events and between science and technology."

En conséquence, les expressions "research push", "technology push","market pull", perdront peu à peu leur signi-

fication d'origine, pour indiquer, non plus l'un des trois modèles, mais la force que l'on estime dominante dans une innovation technologique donnée.

Les mesures nécessaires à la validation d'un tel modèle combiné deviennent évidemment plus nombreuses, plus complexes et plus fines (33), p. 252. Entre autres, il importe de faire la distinction entre les industries à "low research intensity" et les industries "science-based" ou "science related", p.253:

> "Obviously, a great deal depends on the branches of industry which are examined. In electronics, pharmaceuticals and scientific instruments, much of the technology can be legitimately be described as "science-based" as well as "science related". In these industries there is a very strong interaction between science and technology."

L'expression "knowledge intensive industry" veut souligner la même distinction. Encore ici, cette distinction prendra tout son sens dans la série d'industries à haute technologie qui apparaîtront durant la décennie 70.

## 3.6 LA CRISE ECONOMIQUE DES ANNEES 70 ET LA NOUVELLE RELATION SCIENCE-SOCIETE.

Les remises en question de la science et de l'université, que nous avons évoquées dans le présent chapitre, avaient déjà contribué, dans un autre contexte, à la révolution culturelle de Mao. La difficulté de trouver des réponses aux questions posées et le conservatisme des "establishments" scientifiques et universitaires pouvaient peut-être expliquer, en partie du moins, ce genre d'événement. Il faut dire par contre que la fin de la révolution culturelle en Chine et la réouverture des universités ont de façon évidente répondu à d'autres impératifs qu'à celui de l'obtention de réponses aux questions posées.

En occident, malgré les remous des manifestations, les actions ont été moins spectaculaires. Et on aurait pu espérer qu'à la longue le raffinement des études sur l'innovation et sur les interactions science-technologie-société, de même que les réflexions sur les cheminements interdisdiplinaires nécessaires pour répondre aux besoins de la société puissent faire naître un cadre conceptuel pouvant mener à des réponses

et amener graduellement des changements d'attitudes des divers intervenants.

La crise économique des années 70, débutant avec la crise du pétrole en 1973, allait cependant précipiter les choses.

Tisdell (34) a analysé l'évolution des politiques scientifiques depuis lors dans les pays de l'OCDE. Il conclut, p. 198:

> "While expressed and apparent government priorities swung towards quality of life including environmental objectives in the late 1960s and early 1970s and even continued to do so later in some countries, the emphasis now has shifted towards promoting science and technology for the sake of increasing the international competitiveness of industry. Science and technology strategy under government direction is seen as a powerful means to raise exports, raise standards of living, expand employment and meet the challenge emanating from changes in the international division of labour - the gravitation of manufacturing industry to developing countries."

Le discours politique n'a pas changé depuis lors, comme en témoigne, entre autres, la déclaration suivante du ministre Don Johnston du MEST, en 1983 (35), p. 55:

> "Science and technology essentially are pulled by overall economic development policies and must support those policies. (...) Funds invested in research and development in a systematic and organized way build upon our strenghts. The marriage of capital and technology will enable us to create jobs, get the unemployment rate down, and develop long term, sound economic growth."

Au Québec, "Le Virage technologique" (36) tient le même discours.

Comme le fait remarquer Salomon (22), p. 61, alors que la remise en question du tournant des années 70 impliquait non pas décélération de l'accroissement des ressources mais réallocation vers d'autres objectifs, la situation allait changer et

> "these resources in fact were to decrease as a result of the economic difficulties precipitated by the oil crisis of 1973, and the very consequences of that crisis on the energy level were to reduce the scope of those barely attempted efforts to redirect research activities toward the solution of social problems."

Et effectivement, les politiques scientifiques allaient dès lors, et jusqu'à maintenant, être orientées vers des objectifs économiques, en termes de compétition industrielle internationale, augmentation des exportations, diminution du taux de chômage, abaissement des coûts de production ou même tout simplement conservation et consolidation des avantages acquis dans la concurrence commerciale internationale. Un nouvel équilibre économique cherchait à se faire entre pays développés d'une part, mais également dans leurs relations avec le Tiers-Monde et même avec le Quart-Monde dont on commençait alors à parler. Les relations économiques nord-sud devenaient de plus en plus difficiles et de plus en plus compétitives.

Non seulement à partir de 1973 les objectifs changent-ils, mais par leur nature même les nouveaux objectifs mettent l'accent sur le court terme en innovation , beaucoup plus que tout ce que l'on avait connu jusque-là. En plus, ces objectifs sont à réaliser dans une perspective d'économie de moyens et de restrictions budgétaires, comme on n'en avait pas connu depuis longtemps. Dans cette optique, il était inévitable que les politiques scientifiques tendent à maximiser l'innovation technologique dans les voies les plus prévisibles et les plus sûres à court terme. Par contre, dans les voies où la recherche de base semblait incapable de promettre des retombées immédiates, la tentation était grande de se laisser convaincre que les modèles impliquant davantage la technologie existante et même l'empirisme, plutôt que la recherche fondamentale dans les sciences de base, étaient peut-être à privilégier.

Le rapport Delapalme (37), dans sa partie deux, montre ce changement, au cours de la décennie 70, vers le court terme et les objectifs sûrs, parallèlement à la stagnation des budgets de recherche universitaire et à la tendance de plus en plus marquée à demander à l'université de s'engager dans des recherches carrément appliquées et à court terme.

Pour les sciences de base, 1973 marquait un nouveau virage à prendre. Les objectifs passaient du social à l'éco-

nomique. Les échéanciers devenaient plus courts et les moyems devenaient moins importants. On mit l'accent sur la rationalisation, l'efficacité, le regroupement des chercheurs en équipes, le choix des priorités. Au total par contre, une constante: la poursuite et l'intensification du mouvement amorcé en 1968 consistant à exiger des justifications de plus en plus précises de l'activité scientifique en fonction d'objectifs socio-économiques.

L'activité scientifique ne réagit pas instantanément au changement dans les pressions extérieures. Avant de parler de la réaction à 1973, il y a lieu d'analyser la réaction à 1968 dont le plus clair allait se dérouler durant la décennie 70 et à laquelle allait s'ajouter progressivement la réaction à 1973, sans qu'il soit toujours possible de les distinguer l'une de l'autre.

Déjà, dès le début de la décennie 70, des réajustements importants s'étaient manifestés au point de vue enseignement et au point de vue recherche pour tenir compte des nouveaux objectifs fixés à l'université. N'en citons pour exemple au Québec que "L'opération grandes orientations" du Conseil des universités (38) où, dans le cadre d'une réflexion globale, chaque université annonçait ses choix d'orientations et ses axes prioritaires de développement, qui étaient ensuite discutés à l'échelle de l'ensemble du réseau universitaire. Cet-

te opération avait d'ailleurs été précédée d'un vaste effort de réflexion sur le rôle de l'université, et qui s'était traduit, entre autres, par la publication de "L'Université québecoise du proche Avenir", où l'on s'interrogeait sur le rôle de l'université sur tous les plans: recherche, enseignement, formation initiale et formation continue, interdisciplinarité (39).

L'opération grandes orientations allait être suivie d'un certain nombre d'opérations de planification sectorielles: opération sciences appliquées (OSA), opération sciences fondamentales (OSF) et opération sciences de la santé (OSS), qui allaient réétudier les mêmes problèmes au niveau de chacun des secteurs, en insistant sur la coordination des efforts et leur complémentarité et sur la rationalisation des choix.

Outre leur participation à ces opérations, les établissements universitaires allaient tenter d'apporter des réponses aux questions posées sur le rôle de l'université. La décennie 70 a été celle de la création des centres de recherche interdisciplinaire, axés sur les grands problèmes de l'heure. De nombreux programmes de formation voudront explorer des démarches thématiques plutôt que disciplinaires. Au niveau individuel, les étudiants pourront faire leur synthèse personnelle des connaissances, à l'aide de programmes courts, majeurs et mineurs, qu'il pourront combiner selon leurs intérêts.

Les chercheurs universitaires, dans de nombreux cas, avaient eux-mêmes réussi à concilier le développement des connaissances dans leur discipline et la réponse aux besoins socio-économiques, en orientant leurs recherches vers des objets présentant de l'intérêt aux deux égards.

Nous avons déjà indiqué en 3.1 que le développement des sciences obéit d'une part au dynamisme interne des disciplines qui conduit à l'approfondissement théorique de l'acquis de la discipline, à sa formulation de plus en plus précise, de plus en plus complète, de plus en plus cohérente. Il obéit d'autre part à des commandites externes, industrie ou gouvernement, qui conduit à l'utilisation pratique des connaissances et de l'expertise aux fins de production industrielle et aux fins des services publics. Ces deux démarches amènent évidemment des rétroactions importantes l'une sur l'autre.

En plus de ces deux démarches qui s'interfécondent, il existe une troisième démarche expliquant le développement des sciences et qu'il vaut la peine d'expliciter, autant par ce qu'elle révèle du mécanisme de l'évolution des disciplines que par la mesure qu'elle constitue de l'insertion des disciplines dans l'ensemble socio-économique.

A tout moment de l'histoire, il existe, à la périphérie du champ d'étude d'une discipline, toute une série de

domaines et d'objets auxquels les spécialistes de la discipline tentent d'appliquer leur méthodologie d'étude, souvent avec succès. Par exemple, à la fin du 19e siècle, le domaine des interactions non-liantes ( de type Van der Waals) était dans ce cas par rapport à la chimie. Les physiciens y faisaient déjà des contributions très importantes. Les chimistes s'y sont également intéressés, par des voies et avec des préoccupations différentes et, graduellement, le domaine est passé en grande partie dans le champ d'étude de la chimie elle-même et fait maintenant l'objet des deux premières démarches.

Cette troisième démarche est un processus quasi-alimentaire d'assimilation et de croissance qui se poursuit sans arrêt pour les différentes disciplines. Par exemple, l'application de la chimie de synthèse à la simulation, par des molécules modèles, de l'action catalytique des enzymes, accroîtra nos connaissances des processus biologiques mais en même temps, donnera un nouveau départ à des études très fondamentales de la catalyse elle-même. Gros,Jacob et Royer (1), p. 175, montrent comment cette troisième démarche a amené en biologie les progrès récents.

Cette démarche d'une discipline vers un nouveau champ d'étude, qu'elle choisit comme domaine d'application de sa méthodologie et où elle cotoiera d'autres disciplines, est qualifiée par le rapport Michaud (voir 3.4) d'interdisciplinarité structurale. Elle provient "de la dynamique interne des

disciplines et de la structure de la recherche" (28),p. 80. Cette interdisciplinarité aboutira dans certains cas à la création d'une nouvelle discipline qui continuera à s'alimenter à ses disciplines-mères, tout en développant sa propre méthodologie. C'est ainsi qu'est née la biochimie, et plus récemment la biologie moléculaire.

Cette démarche n'aboutit pas nécessairement à la création d'une nouvelle discipline. Elle conduit le plus souvent à l'agrandissement du champ d'étude des disciplines impliquées. Chacune des extensions du champ d'étude, par les nouvelles connaissances et les nouveaux outils qu'elle apporte, permet l'accélération de l'approfondissement théorique de l'ensemble de l'acquis, que nous avons évoqué dans ce que nous avons appelé la première démarche. Et, par ce biais, ou de façon plus immédiate, chaque extension rend également la discipline plus utile dans l'industrie ou dans les services, dans ce que nous avons appelé la deuxième démarche.

Ces trois démarches parallèles, avec leurs interactions mutuelles, constituent le moteur de l'évolution d'une discipline et de son insertion dans le contexte socio-économique. Si l'ensemble de ces démarches assure le dynamisme de la discipline et son développement, il ne définit pas cependant l'orientation de ce développement. En effet, les objets

auxquels on peut appliquer la méthodologie d'une discipline sont si nombreux que les choix pourront être faits et les progrès réalisés dans des directions fort différentes, comme cela s'est d'ailleurs déjà produit selon les époques et selon les contextes socio-économiques.

Nous avons précisément vu depuis le début de ce chapitre comment les gouvernements ont voulu influencer cette orientation du développement des activités scientifiques, de façon, il faut le dire , extrêmement empirique et sans pratiquement jamais tenir compte du temps nécessaire à des réorientations aussi importantes. En partie à cause des politiques scientifiques, en partie à cause de leur propre sensibilité aux problèmes socio-économiques et en partie à cause de l'état d'avancement des connaissances dans leur discipline, plusieurs chercheurs universitaires se sont mis, au cours des quinze dernières années, à favoriser de façon plus systématique, dans leurs choix de domaines de recherche, des objets et des problèmes qui touchent de plus près les besoins socio-économiques. Lorsque le CRSNG lancera son programme de subventions thématiques, à la fin des années 70, on s'apercevra qu'une proportion surprenante, le tiers, des chercheurs dits "libres" dans les universités travaillent déjà dans des secteurs intéressant l'industrie canadienne ou dans des secteurs d'intérêt national (40).

Sans mettre en danger le dynamisme du développement interne de leur discipline, ce que l'on peut qualifier à ce niveau et dans ce contexte de premier devoir des chercheurs universitaires, beaucoup ont voulu, dans le choix de leurs objets de recherche, ajouter dans certains cas ou l'intensifier dans d'autres, la dimension application à des problèmes qui dépassent largement les impératifs disciplinaires et répondre ainsi à des besoins plus proches de l'homme et plus immédiats. On pourrait prétendre avec certains auteurs (41) que c'était là, pour de nombreuses disciplines, renouer avec une vieille tradition de choix de domaines de recherche présentant de l'intérêt à la fois au point de vue science de base et au point de vue applications.

On pourrait même être tenté de dire que le "divorce" entre les sciences fondamentales et les besoins socio-économiques n'aura peut-être duré guère plus de vingt ans (1945-1968) et que dans la nouvelle conjoncture, il suffira d'orienter la recherche fondamentale à l'aide de subventions thématiques et d'énoncés de politique scientifique pour obtenir une nouvelle réorientation vers les objectifs économiques cette fois, tels qu'ils apparaissent depuis 1973.

La réalité est moins simple.

Disons tout d'abord que, de façon assez paradoxale,

c'est par le développement même des années 60, auquel on reprochera d'avoir été trop "pur", que la science allait pouvoir essayer de répondre aux nouvelles attentes de la société. Le développement prodigieux des années 60 avait amené de nombreuses découvertes importantes qui allaient donner naissance durant la décennie 70 à toute une série de technologies révolutionnaires, fortement "science based", dans lesquelles la société espérera trouver des solutions à plusieurs de ses problèmes. Ce sera l'heure du "Virage technologique".

Mais même dans ce contexte où les chercheurs orientent leurs travaux vers des objectifs socio-économiques et où les progrès récents des sciences promettent des solutions à bien des problèmes, le rôle de la science dans l'innovation technologique, et de là dans une politique de développement économique, est encore loin d'être clair. La difficulté de toute entreprise de planification provient de la nature même de la recherche de base, dont les résultats sont imprévisibles. Comme le font remarquer Gros, Jacob et Royer (1), p. 15:

> "Aucune action concertée ou programmée ne pouvait, à la fin des années 40, suggérer aux biochimistes de s'associer aux généticiens et aux physiciens pour constituer une Biologie moléculaire. Personne alors ne pouvait prévoir que la chimie de l'hérédité serait comprise avant celle des tendons. Avec leurs efforts gigantesques, les Américains ont confirmé qu'il est possible de planifier le développement mais pas la recherche, un voyage sur la lune mais pas le traitement du cancer. Il est raisonnable de procéder à certaines incitations dans les voies qui semblent les plus prometteuses. Mais il est indis-

pensable de laisser une part importante à l'imprévu. Rien ne serait plus stérilisant pour la recherche que de tenter de modeler l'avenir en fonction de la connaissance présente. L'important dans la recherche, c'est l'imprévisible. C'est à l'imprévisible qu'il faut à tout instant pouvoir et savoir s'adapter. (...) Le rôle de la recherche de base dans l'évolution technique peut être résumé de la manière suivante: si, à l'âge de pierre, l'avenir de l'humanité avait été confié à la recherche appliquée, on aurait vu des haches de pierre de toutes les formes, à tous les prix, pour toutes les occasions; mais on n'aurait jamais connu le bronze!"

La prise en compte des caractéristiques de la recherche de base par les politiques scientifiques et technologiques est évidemment une entreprise de taille. L'évolution au cours de la décennie 70 du concept d'évaluation technologique, ou plutôt son enrichissement, a cependant été un pas important à cet égard. Au départ, il s'agissait essentiellement d'évaluer, à côté des retombées intéressantes, l'ensemble des coûts d'une innovation technologique, y compris les coûts sociaux et environnementaux, dans une perspective de choix entre différentes solutions. Tout le chapitre IV du rapport Brooks (24) tourne autour de cette question. Comme les coûts en question ne sont pas tous chiffrables, l'évaluation technologique doit forcément être complétée par la recherche d'un consensus entre les différents partenaires du corps social, comme le soulignent Tisdell (34), chapitre 6, et un rapport récent de l'OCDE (42), pp. 59 et 94 entre autres. Pour reprendre une expression du rapport Delapalme (37), p. 14, cette

évaluation est en fait une évaluation sociale de l'innovation technologique.

Malgré l'importance extrême que présente cet aspect de l'évaluation technologique, elle ne suffit pas. Le rapport de l'OCDE sur "La politique scientifique et technologique pour les années 80" (42), p. 102, dit à cet égard:

> "On s'est beaucoup moins préoccupé jusqu'ici de faire en sorte que les gouvernements et les organismes internationaux identifient les lacunes importantes que présentent les connaissances et prennent des mesures pour combler ces lacunes en lançant des programmes de recherche concertés."

A l'évaluation sociale de l'innovation technologique, il fallait donc ajouter l'évaluation scientifique et l'évaluation technologique de faisabilité de l'innovation. Ce sera l'un des thèmes centraux du rapport Delapalme (37).

Ce rapport, qui veut prendre la suite du rapport Brooks (24) et tenir compte de la décennie écoulée entre les deux, insiste sur la nécessité d'études de faisabilité scientifique et technologique de l'innovation, p. 31. Le temps de réponse à une demande dépend évidemment de la force de la demande et de l'importance des investissements, mais elle dépend aussi de l'état d'avancement des connaissances, qui pourra différer considérablement d'un secteur à l'autre, p. 32. Ce facteur pourra expliquer, entre autres, que l'apparition d'inventions et d'innovations pour satisfaire une demande puisse

prendre un temps très long dans certains secteurs, p. 32.

Après avoir analysé les changements intervenus durant la décennie 70 vers le court terme et l'application immédiate, le rapport note la diminution de la recherche exploratoire, à long terme, p. 36, et le danger pour l'université de faire trop de recherche appliquée au détriment de la recherche de base, ce qui à long terme irait à l'encontre de la croissance industrielle elle-même, p.45. En effet, ce sera souvent l'état de développement de la science et de la technologie qui sera le facteur déterminant dans la vitesse et la direction du changement technique, p. 47.

Le rapport conclut à l'importance d'une évaluation globale de l'innovation technologique, aussi bien sociale que technologique et scientifique, et met en garde contre le danger de négliger le long terme et l'inattendu, p. 94.

L'importance de prendre en compte, dans la planification, l'état d'avancement des connaissances dans un secteur donné apparaissait déjà dans le rapport Brooks (24) et dans l'article de Weisskopf (29), mais plutôt pour faire ressortir la difficulté de l'entreprise que comme un élément utilisable en planification.

L'état des connaissances de base, à l'égard de l'innovation technologique, forme un spectre continu selon que, dans un

secteur donné, pour reprendre les mots du rapports Brooks, pp. 61 et 63:

I - "Les connaissances fondamentales nécessaires sont disponibles."

II - "On dispose d'une compréhension théorique suffisante pour savoir où chercher les connaissances manquantes."

III - "l'état des connaissances ne suffit même pas à nous permettre de préciser ce que nous ne savons pas, donc de définir la recherche qui nous le ferait trouver."

C'est ce que nous appellerons le spectre de Brooks-Weisskopf.

A l'extrémité I, la recherche appliquée et l'ingénierie peuvent utiliser l'innovation et la mener à terme, si elle correspond à un besoin.

Dans le cas II, un travail de recherche fondamentale orientée dans cette direction (ou doit-on dire appliquée, même si elle vise l'accroissement des connaissances fondamentales dans un secteur prédéterminé) est préalable à l'innovation.

En III, même si les besoins dans le secteur sont clairement exprimés, il y a encore à faire un effort d'accroissement des connaissances fondamentales par la recherche libre (ou doit-on dire orientée, bien que l'on ne sache pas quelle orientation sera la plus fructueuse) avant de penser à l'innovation.

Weisskopf y ajoute un autre cas, découplé par définition de l'innovation technologique:

> IV - On ne sait pas quelles pourraient être les applications possibles des recherches fondamentales dans un domaine donné.

Comme, selon Weisskopf, c'était le cas pour la physique atomique au début du siècle comme, pourrait-on ajouter, c'était le cas de la biologie moléculaire en 1940, ou celui des travaux de génie génétique il n'y a que quelques années, comme c'est le cas présentement pour de nombreux secteurs comme la physique des particules élémentaires.

Parallèlement et relativement à l'état d'avancement des sciences de base dans un secteur, il y aurait lieu de faire l'équivalent pour l'état d'avancement de la technologie, qui peut être plus ou moins fortement découplé de l'état d'avancement des connaissances de base dans le même secteur. Encore ici, on a affaire à un spectre fort étendu au point de vue ampleur des travaux de R-D à effectuer.

Même si on se limite aux secteurs où le couplage science-technologie est fort ("science based"), on peut réaliser que le cheminement entre la découverte et l'innovation technologique ("innovation gap") pourra varier considérablement selon que:

I - Une découverte des sciences de base constitue l'innovation technologique elle-même et la technologie d'appoint nécessaire existe déjà. Il n'y a pas de "innovation gap": on peut passer directement à la production industrielle ou à l'utilisation du nouveau procédé.

II - La découverte est là, mais il y a du travail de R-D à faire soit sur la découverte elle-même avant qu'elle ne constitue une innovation technologique utilisable, soit sur la technologie d'appoint nécessaire, avant de passer à la production industrielle ou à l'utilisation du nouveau procédé.

III - La découverte elle-même n'est pas encore au point. Il y a encore de la recherche de base à effectuer avant de pouvoir parler d'innovation et a fortiori avant de pouvoir envisager quel travail de R-D sera nécessaire.

IV - La découverte n'est pas encore faite. C'est l'imprévisibilité totale, non seulement au point de vue de la R-D qui sera nécessaire, mais de la recherche de base elle-même.

La découverte d'un vaccin qu'on peut ensuite produire commercialement avec la technologie existante serait un exemple du cas I. A l'autre extrême, les recherches sur la guérison du cancer serait un exemple du cas IV.

Tous ces cas d'innovation technologique doivent évidemment, pour être utiles, correspondre à un "demand pull", qui aura donné lieu à une évaluation sociale. Par ailleurs, en I, le "research push" et le"technology push" se confondent entièrement. A mesure que l'on passe de I à IV, ces deux for-

ces se découplent de plus en plus. En III, et a fortiori en IV, on parlera de "predevelopment gap", dans lequel l'effort à faire sera prioritairement en recherche de base, l'effort de développement ne pouvant venir qu'ensuite.

Il est peu probable qu'un modèle d'innovation, si complexe soit-il, puisse embrasser, outre le "demand pull", toute l'étendue de ce double spectre de l'état d'avancement de la science et de celui de la technologie, de même que leurs implications au point de vue des échéances à prévoir.

Les politiques scientifiques doivent cependant prendre ces variables en compte. Ce travail doit par ailleurs se faire à la pièce, non pas pour l'ensemble d'un secteur, mais pour chacun de ses domaines, étant donnés la spécificité des évaluations à faire et le grand nombre de variables impliquées. Malgré les difficultés impliquées, ce travail est essentiel surtout dans les secteurs à haute teneur scientifique, dans lesquels il ne saurait être question de tenter des aventures de développement basé sur l'empirisme (13), p. 12.

A cet égard, la biotechnologie aura peut-être constitué une première historique. Plusieurs des textes que nous avons cités sur la biotechnologie, entre autres (1),(2),(8),(9) et (13), poussent très loin cette analyse de l'état d'avancement de la science et de la technologie, pour chaque filière,

selon le produit ou la réalisation envisagée, et indiquent les progrès à faire dans les deux cas avant que l'on puisse espérer des innovations technologiques utilisables.

La biotechnologie aura peut-être été le premier secteur où la planification devance la science et la technologie et leur indique les voies à explorer, en réponse aux besoins identifiés, compte tenu des ressources disponibles et des autres solutions possibles.

## 3.7 SCIENCES DE LA VIE ET SOCIETE.

Nous avons emprunté le titre de la présente rubrique à l'ouvrage de Gros, Jacob et Royer (1) qui, bien qu'il déborde largement ce secteur, inaugurait en 1979 la longue série des rapports et prises de position officiels sur la biotechnologie. Nous avons analysé, depuis le début du présent chapitre, le contexte dans lequel paraissaient cet ouvrage et ceux qui allaient suivre. Cette démarche nous a semblé essentielle pour replacer ces textes à la fois dans les préoccupations de leurs commanditaires et dans celles de leurs auteurs.

La biotechnologie allait en effet rapidement se révéler comme un cas type de développement d'un secteur technologique pour lequel il fallait apporter des réponses concrètes

aux interrogations nombreuses de la décennie précédente sur le rôle de la science dans l'innovation technologique, dans le développement économique et dans la recherche de solutions aux problèmes sociaux et environnementaux, sur la place à faire à l'interdisciplinarité dans un tel secteur où les problèmes sont complexes et débordent le cadre traditionnel des disciplines, sur les politiques à mettre en oeuvre pour orienter l'activité scientifique dans le sens des meilleurs intérêts de la nation et évidemment sur les programmes de formation à utiliser pour former la main-d'oeuvre requise, ce qui est le premier pas à faire, de l'avis de tous.

On comprendra que, dans le contexte socio-politique où ils paraissent, ces textes soulignent abondamment les retombés économiques à attendre, dans une perspective de compétition internationale, de marchés à conquérir ou à conserver, d'exportation de technologie aux pays en voie de développement. On fera donc valoir la rentabilité des investissements, tant dans les activités de R-D en biotechnologie que dans la formation de futurs spécialistes. On insistera sur le fait que les retombées doivent profiter d'abord aux intérêts nationaux et qu'on doit veiller à minimiser la fuite des cerveaux vers l'étranger, tout en ouvrant les frontières aux cerveaux qui voudraient bien immigrer.

Au niveau relation science-innovation en biotechno-

logie, on discutera en terme de "research push" et de "technology push" d'une part et de "market pull" d'autre part. On soulignera qu'il s'agit d'un secteur en "pre-developement gap", mais dont la nature "knowledge intensive" et "science based" fait que le "innovation gap" variera bien davantage en fonction de l'état d'avancement des connaissances que du besoin pour l'innovation. On notera que, compte tenu de la nature du secteur, toute tentative de développement par des méthodes empiriques est vouée à l'échec.

La relation entre la biotechnologie et les sciences de base sera partout fortement soulignée. Certains textes attireront même l'attention sur les dangers d'une trop grande implication des universités en recherche appliquée et d'une trop grande implication des professeurs au niveau de la production industrielle. Le développement du secteur au plan économique lui-même exige une forte assise en recherche de base. Chaque filière, voire chaque produit ou procédé envisagés seront soumis à une évaluation de l'innovation technologique au niveau social et économique mais également technologique et scientifique.

Les problèmes de lutte à la pollution, d'énergie et d'alimentation seront évidemment abordés mais dans une perspective au moins aussi économique que sociale.

Les rapports insisteront évidemment sur la responsabilité sociale des scientifiques, entre autres la biosécurité des travailleurs et du public en général, mais plusieurs voudront souligner que des règlements plus sévères que ceux des pays concurrents constitueront un handicap au développement national de la biotechnologie.

Encore plus significative si possible sera la place faite à l'éducation du public en général, sur ce que l'on peut attendre de la biotechnologie, dans le but évident d'éviter de nouvelles contestations qui pourraient venir d'espoirs déçus et de la peur collective que pourrait susciter un domaine aussi mystérieux et aussi "science-fiction" que les manipulations génétiques.

Ces textes sont donc fortement incarnés dans la réalité socio-politique de la décennie précédente et tentent de présenter des approches extrêmement globales.

Parallèlement aux constantes que nous venons de souligner dans les pages précédentes, on peut déceler, durant la très courte période du tournant des années 80, une évolution non négligeable dans la planification proposée par les différents textes.

Nous distinguerons d'une part les textes que nous appellerons de la première génération, entre autres le rapport

de Rosnay (2) et le rapport Spinks (3), et d'autre part des textes plus récents, la deuxième génération, Pélissolo (5), le livre blanc du gouvernement britannique (7), Stewart (12), OCDE (13)(14), le programme d'intervention du Québec (15). Le rapport Brossard (6) et le rapport Apeldoorn (9), entre autres, constituent en quelque sorte une transition entre les deux.

En synthétisant, et forcément en simplifiant beaucoup, on peut dire que les textes de la première génération cèdent un peu à la tentation, qui était grande devant la pression exercée sur la science, de promettre davantage et surtout à plus court terme que la prudence ne l'aurait exigé.

Les premières réalisations du génie génétique microbien suscitaient l'enthousiasme. On parlait du harnachement des microbes au service de l'homme. On citait l'expérience du Japon qui avait fait de la microbiologie industrielle une priorité nationale, avec un succès éclatant. Pourquoi ne pas transposer cette expérience? Les connaissances de base en génétique microbienne avaient fait un bond extraordinaire. La technologie d'appoint était en grande partie acquise. Devant les besoins exprimés, on pouvait donc se laisser aller à proposer un développement ressemblant aux cas I ou II du spectre de Brooks-Weisskopf et l'équivalent au point de vue avancement de la technologie, voir 3.6.

Même si le "market pull" est faible, puisque la bioindustrie est peu développée, on peut proposer un développement en"research push" ou "technology push" (les deux expressions sont équivalentes dans ce contexte), qui se transformera graduellement en développement en "market pull" à mesure que l'industrie sera à même d'utiliser les innovations biotechnologiques, Spinks (3), p. 8, Brossard (6), p. V. Il ne resterait qu'à intégrer les connaissances en sciences de base et la technologie, à fournir l'effort de recherche appliquée pour opérer le transfert technologique et les problèmes seront résolus, Apeldoorn (9), pp. 227, 230 et ss, de Rosnay (2), p. 123. Les investissements seront considérables mais rapidement très rentables.

Pour y parvenir, il faut former des "biotechnologues". de Rosnay (2), p. 113, établira un profil de formation très détaillé pour un bio-ingénieur (au sens français) qui connaîtra à la fois la microbiologie, l'enzymologie et l'ingéniérie. Le rapport Spinks (3), moins explicite à cet égard, se demandera pourtant, p. 25, s'il est sage d'attendre quelques décennies que la biotechnologie se transforme en discipline autonome et s'il ne vaudrait pas mieux forcer un peu cette évolution.

L'accent se déplace avec les rapports que nous avons appelés de la deuxième génération. Ce sont essentiellement ceux que nous avons cités dans le chapitre 1. C'est vrai qu'on

peut se permettre de grands espoirs, certains même à court terme peut-être. Les réalisations du génie génétique microbien le montrent. Il faut cependant se garder des attentes de retombées à trop court terme. Il est peut-être vrai que, comme le disait le rapport Spinks (3), dans certains domaines de la biotechnologie, la recherche de base est faite et qu'il ne reste que le développement à venir, p. 8, ce que l'on pourrait faire, selon de Rosnay (2), p. 123, dans le cadre de programmes de recherches appliquées en "task force" étalés sur deux à trois ans, voire cinq ans.

C'est l'exception plutôt que la règle cependant; dans beaucoup de ses domaines, la biotechnologie en est encore largement au "predevelopement gap", non seulement parce que le développement est à faire, mais parce qu'il y a encore beaucoup de recherches de base à effectuer. On ne sait même pas encore quelles seront les avenues les plus intéressantes au point de vue transfert technologique. Il ne faut pas négliger le génie génétique comme avenue de développement, mais la biotechnolohie débordera largement le génie génétique. La microbiologie a déjà indiqué des applications intéressantes, mais même-là il ne s'agit que d'un début. Les micro-organismes ont encore bien des potentialités, mais il faut les étudier avant de pouvoir les utiliser. Par ailleurs la biotechnologie en viendra à utiliser des cellules d'ordre supérieur, végétales puis animales.

Si on se fie aux réalisations du passé récent pour prévoir l'avenir, on risque fort de faire fausse route. Aussi bien en termes de disciplines de base, de techniques que de filières, il est prématuré de faire des choix; le passé récent est indicateur de promesses, les réalisations les dépasseront mais dans des directions actuellement imprévisibles. L'horizon à envisager n'est pas de deux, trois ou cinq ans, il se compte en décennies.

En plus de ceux que nous avons cités au chapitre 1, un texte récent du Conseil des Sciences du Canada (17), p. 2, est révélateur à cet égard:

> "L'augmentation rapide du recours aux techniques avancées de microbiologie au cours des dix dernières années est due aux progrès réalisés dans la recombinaison de l'ADN. Suite à cette poussée technologique ("technology push") amorcée d'abord par les chercheurs universitaires, certains spéculateurs avisés se sont vite rendu compte des énormes possibilités (dans le domaine médical d'abord) de ces nouvelles techniques scientifiques. Par la suite, gouvernements, industries et spéculateurs, pressentant la réussite, ont investi des millions de dollars dans des entreprises de recherche et développement jusque-là peu connues, voire inexistantes. Malheureusement, on a parfois trop attendu de la recherche en biotechnologies et parfois trop fait de promesses en son nom et la profusion de textes sur le sujet n'a rien arrangé."

Si la biotechnologie intéresse tant les gouvernements aujourd'hui, ce n'est pas parce que l'on connaît les produits et les réalisations qui en sortiront et les problèmes qu'elle

permettra de résoudre. Par contre tout le monde pressent qu'il se produit actuellement des percées importantes en biologie fondamentale, percées qui sont susceptibles d'avoir des retombées socio-économiques considérables, même si elles sont difficiles à prévoir. On parle déjà de "révolution bio-industrielle", sans trop savoir ce qu'elle sera, mais on veut en être. Le Conseil des Sciences du Canada a choisi comme exergue à son texte (17) une citation illustrant remarquablement bien cette situation:

> "The enemy increaseth every day;
> We, at the height, are ready to decline.
> There is a tide in the affairs of men,
> Which, taken at the flood, leads on to fortune;
> Omitted, all the voyage of their life
> Is bound in shallows and in miseries.
> On such a full sea are we now afloat,
> And we must take the current when it serves,
> Or lose our ventures."
>
> Shakespeare, Julius Caesar.

L'élargissement de la planification et la prise en compte des délais nécessaires, que nous venons de noter dans les rapports de la deuxième génération, étaient contenus en germe dans ceux de la première génération, comme on s'en aperçoit en les relisant attentivement. Les textes ultérieurs y insisteront bien davantage cependant, parallèlement, il est intéressant de le noter, aux recommandations du rapport Delapalme (37)(voir 3.6) de même qu'à celles du rapport de l'OCDE sur "Les politiques scientifiques et technologiques pour les

années 1980" (42), qui sont largement convergentes.

Nous avons vu au chapitre 1 le scénario de développement qui en découle, et au chapitre 2 le marché de l'emploi qui y correspond. Nous verrons au dernier chapitre les programmes de formation à prévoir pour la main-d'oeuvre requise.

## CHAPITRE 4

## LES PROGRAMMES DE FORMATION

L'état des réflexions sur la biotechnologie et son avenir nous a amené à conclure qu'il ne suffira pas de former des scientifiques qui pourront appliquer les connaissances acquises, il faudra en former pour effectuer de nouvelles recherches dans les voies les plus prometteuses et évidemment pour opérer le transfert technologique des nouvelles découvertes vers la réponse aux besoins socio-économiques.

Même si un besoin existe, cela ne suffit pas à générer la découverte qui le satisfera. Un ensemble de besoins existe. Un ensemble de biosciences existe dans lesquelles on pourrait faire des découvertes pour répondre aux besoins. Comment former des scientifiques qui travailleraient à faire le pont entre les besoins et les possibilités de solution.

Alors que les textes de la première génération pouvaient penser y parvenir par la création d'une nouvelle discipline (un génie biologique), ceux de la seconde devront se poser,dans toute leur étendue, les problèmes de l'interdisciplinarité et les problèmes d'orientation vers un objectif com-

mun d'un ensemble de disciplines ayant chacune ses objectifs propres.

## 4.1 BIOSCIENCES ET BIOINGENIERIES.

Dans un ensemble aussi vaste qu'apparaît le secteur de la biotechnologie, se pose évidemment la question du type de programmes de formation. Le rapport "Tendances internationales et perspective en biotechnologie" de l'OCDE note l'ampleur du secteur et en tire la conclusion suivante, p. 5, (13):

> "Il est peu probable qu'un biotechnologue soit bien versé dans l'ensemble des disciplines sur lesquelles s'appuie la biotechnologie, mais, à partir de sa formation initiale dans une discipline particulière, il aura acquis une connaissance plus large de la biotechnologie en appliquant ses compétences à la résolution de problèmes pratiques."

Les experts chargés d'étudier ce rapport (14) ajoutent, pp. 7 et 8:

> "Il existe un besoin considérable d'accroître l'information biotechnologique au niveau de l'enseignement supérieur. Toutefois, la plupart des experts, particulièrement les experts européens, ne ressentent pas le besoin de créer une nouvelle discipline universitaire, qui formerait uniquement des "biotechnologues", alors que le besoin ressenti est celui de compétences spécifiques dans un contexte interdisciplinaire. De toutes manières, aucune spécialisation en biotechnologie ne devrait être envisagée avant la maîtrise. Certains experts soulignèrent le danger d'éduquer superficiellement des jeunes

gens dans de trop nombreuses disciplines, qui ne les rendraient guère opérationnels, alors que d'autres soulignèrent le danger de l'hyperspécialisation à une période où l'industrie n'est pas encore en mesure de prédire ses besoins futurs en diplômés biotechnologues."

Pélissolo reprend (5) les mêmes idées, p. 48:

"Deux extrêmes à éviter:
- une formation uniformément polyvalente, conduisant à un profil de biotechnologue connaissant un peu toutes les spécialités, mais aucune en profondeur;
- une hyper-spécialisation, cloisonnant ces spécialités.

Il semble que le meilleur compromis consiste à retenir trois ou quatre profils-types, correspondant à autant de cursus, chacun d'eux contenant une spécialité dominante (exemple: génétique, microbiologie, enzymologie, génie biochimique), et une formation secondaire dans les techniques adjacentes, ceci afin de permettre à l'étudiant, devenu chercheur ou ingénieur, de coopérer utilement avec les spécialites de ces techniques."

Dans la même veine, le livre blanc du gouvernement britannique (7) dit, p. 7:

"The higher and further education system already has arrangements which can take account of the future manpower demands which biotechnology will generate. But it can respond directly only to clear signals from the employment market such as the rewards and opportunities for potential recruits and manpower demands arising from investment by industry. Biotechnology's need for highly qualified manpower is likely to be met for some time through the specialist postgraduate training of graduates with a proper grounding in basic biological science or in engineering."

Enfin, le rapport Stewart, de la Royal Society, (12) dit, p. 24:

"Professional biotechnologists to be recognised as such, will need to have received post-graduate training based on a first degree. They will not, in general, be graduates in biotechnology, per se, but graduates of microbiology, genetics, biochemistry, biology, chemistry, biochemical engineering, food engineering, chemical engineering or mechanical, civil or control engineering. As practising biotechnologists they need to be fully conversant with the physical science principles behind process engineering: sensitive to the constraints imposed by the biological organism or system adopted, and must be numerate. Whatever route they take to a careeer in biotechnology they need to have acquired at some stage in their education elements of: mathematics (numeracy); microbiology, genetics and biochemistry. In so far as these are to be acquired at university or polytechnic they will currently need to be incorporated into some biology, chemistry or engineering courses, in particular."

La situation actuelle au Québec ressemble beaucoup à ces propositions. Comme le note le programme d'intervention (15), p. 23:

" Il n'existe pas dans les universités du Québec de programmes d'enseignement spécifique aux biotechnologies. Certaines de celles-ci s'enseignent aux cycles supérieurs à l'intérieur des programmes de certaines disciplines, en microbiologie, en biologie moléculaire ou en génie chimique par exemple. C'est d'ailleurs, semble-t-il, à cette date, le cas partout dans le monde."

Comme on le voit, même si on distingue généralement trois volets d'activités dans le secteur de la biotechnologie, biosciences, biotechnologies et bioindustries (voir 1.2), on n'en conclut pas pour autant à la nécessité de trois voies de formation distinctes, dont chacune serait spécifique à l'un

des volets. En fait, s'il est utile de présenter en séquence les trois volets et leurs caractéristiques au point de vue fonctions de travail, comme nous l'avons fait au chapitre 2, il ne faut pas en conclure que le déroulement de l'innovation technologique présente une telle linéarité, comme nous l'avons vu en 3.5.

Il ne s'agit donc pas de multiplier les programmes de formation en fonction des divers maillons de la chaîne de l'innovation; on arriverait ainsi à une hyperspécialisation improductive. En fait le schéma généralement retenu est celui de programmes de formation orientés vers deux pôles: les biosciences et les bioingénieries. Dans chacun des cas, il s'agirait d'un premier cycle dans une discipline traditionnelle, suivi d'une spécialisation au niveau d'un programme d'études supérieures dont les activités sont orientées vers l'un ou plusieurs aspects de la biotechnologie. Le rapport Stewart (12) va même jusqu'à recommander d'arrêter le mouvement de création de programmes de premier cycle en biotechnologie qui s'était amorcé au Royaume-Uni, p. 36:

> "We recommend that biotechnology is taught as one component in a wide range of biology, biochemistry and engineering degree courses and that no more new, separate undergraduate courses, specifically in biotechnology, are introduced. There is no need either to extend the number of separate establishments offering courses related to biotechnology. On the contrary, what needs encouragement is closer cooperation within existing programmes between university and their departments."

Dans ce contexte, le mot "courses" est évidemment à prendre dans le sens de programme et non pas de cours isolé.

Nous avons énuméré en 2.1 les biosciences dont les découvertes sont le plus susceptible d'alimenter la biotechnologie de demain. C'est donc tout naturellement à ces biosciences que l'on pensera comme cadre de formation pour la main-d'oeuvre requise. On devra garder à l'esprit que cette main-d'oeuvre travaillera tout au long des trois volets d'activité et souvent sans se limiter à l'un d'entre eux.

L'accent mis sur les biosciences ne doit pas minimiser l'apport des bioingénieries. Traitant de ce sujet, les auteurs du rapport de l'OCDE (13) éprouvent le besoin de faire la mise au point suivante, p. 25:

> "Les découvertes biologiques, notamment dans le domaine du génie génétique, qui ont ouvert de nouveaux horizons à la biotechnologie, ont à juste titre retenu une grande attention. Malheureusement, la grande importance accordée aux aspects biologiques a donné une vision déformée de la biotechnologie, et il convient d'insister sur le fait évident que si les innovations biologiques ne peuvent pas se traduire par des applications pratiques, elles ne présentent guère d'intérêt pour la société."

Ils ajoutent ensuite:

> "Malgré son apport essentiel à la biotechnologie, l'ingéniérie a moins retenu l'attention que les sciences biologiques. Il y a plusieurs raisons à cela: (1) si on les compare aux progrès rapides

accomplis par les manipulations génétiques et par d'autres domaines pertinents de la biologie, les progrès de l'ingénierie sont inévitablement beaucoup plus lents; (2) la recherche et le développement en matière d'ingénierie sont très coûteux dans le cas des matières et des systèmes biologiques, et il est souvent nécessaire de produire de grandes quantités de matières pour vérifier le fonctionnement d'une opération élémentaire déterminée. Fréquemment dans le passé, l'industrie n'a pas effectué d'études détaillées de génie biochimique mais a adopté une démarche assez empirique; (3) les grandes percées techniques ne sont pas fréquentes. En ingénierie, il y a peu d'opérations qui ne puissent pas être réalisées d'une manière ou d'une autre, ce qui signifie qu'il n'y a pas de contraintes absolues. Des améliorations de fonctionnement ou des réductions de coûts peuvent toutefois modifier fortement les caractéristiques économiques du procédé. Les ingénieurs ont réussi dans une mesure appréciable à mettre au point des procédés biologiques économiques, malgré de nombreux problèmes. Les progrès futurs de l'ingénierie auront des répercussions importantes sur les procédés de traitement biologique. Nous évoquons dans les sections qui suivent certains domaines dans lesquels des progrès sont attendus ou dans lesquels les travaux de recherche et de développement doivent se poursuivre."

Suit alors l'énumération des domaines de R-D en ingénierie qui semblent les plus importants aux auteurs du rapport en termes de leurs rapport avec la biotechnologie et qui, à ce titre, devraient faire partie de la formation des ingénieurs appelés à travailler en biotechnologie:

- travail dans des conditions d'aseptie, problèmes de stérilisation des fermenteurs, surtout en fonctionnement continu,
- génie des fermenteurs, problèmes de circulation avec ou sans agitation, de transfert d'oxygène ou de développement de procédés anaérobies,

- réacteurs à catalyseur biologique immobilisé, fixation du catalyseur, sous forme de lit fixe ou de lit fluidisé, systèmes à plusieurs phases liquides,
- récupération du produit, séparation, extraction, purification, récupération extracellulaire ou intracellulaire, séparation liquide-liquide, utilisation des membranes,
- appareillage et contrôle du procédé, utilisation de l'informatique pour commander, surveiller, enregistrer les données, et même guider la fermentation en cours de route, modélisation mathématique des procédés.

Ces domaines, cités par le rapport de l'OCDE reviennent de façon plus ou moins détaillée dans plusieurs autres rapports. Le rapport hollandais Apeldoorn (9) replace tout d'abord les bioingéniéries, sous le nom de Process Technology, en perspective dans l'ensemble du secteur et indique leur spécificité, p. 63:

> "Process technology is, in fact, a back-up discipline rather than a subordinate discipline such as microbiology or biochemistry. This means that development in this field have not so much provided new stimuli for biotechnology but, when judiciously applied in biotechnological processes, have helped such processes to develop fruitfully. On the international scale, a sequence can be perceived whereby developments in microbiology, molecular biology, and biochemistry stimulate new activities in biotechnology which in turn often lead to the corresponding development work in process technology. The fact that process technology is a very important sub-discipline is starting to be appreciated in a wide range of countries."

On comprend, suite à ces remarques, que les domaines généralement retenus comme prioritaires en bioingéniéries seront moins prospectifs que dans les biosciences et plus près de la biotechnologie telle qu'elle existe présentement, avec la prépondérance des micro-organismes et de la fermentation par exemple. Le rapport reprend plus loin, p. 232, à peu de chose près, les mêmes priorités que l'OCDE en matière de R-D en bioingénieries. Elles correspondent essentiellement aux cas I et II de l'état d'avancement de la technologie (voir 3.6); les cas III, et évidemment IV, sont tributaires de l'évolution de l'état d'avancement des sciences de base.

Le rapport Pélissolo (5) distingue moins fortement que les autres entre biosciences et bioingénieries, ce qui est en bonne partie lié au système français d'éducation, où les écoles d'ingénieurs recouvrent tout autant l'ingénierie que les sciences de base. Pourtant, Pélissolo reprend pour l'essentiel, pp. 22 et ss., les mêmes domaines d'ingénierie à développer que les rapports précédents et y ajoute un domaine de l'ingénierie qui est encore largement à venir, celui des cytoculteurs, relié à la culture des cellules animales et végétales:

> "Dans la mesure où l'on estime que certains produits de la biotechnologie ne seront pas issus de micro-organismes, mais de cellules d'organismes supérieurs, il faudra aussi maîtriser leur culture, et les problèmes spécifiques que posent:

- leur métabolisme;
- leur différentiation;
- les inhibitions de contact (c'est-à-dire le fait que leur croissance in vitro n'est possible qu'à la surface de supports).

La recherche de matériaux offrant la surface de croissance maximum est l'une des pistes à explorer; mais bien d'autres problèmes sont à résoudre; et le tout doit déboucher sur la réalisation de cytoculteurs industriels, actuellement presque inexistants sur le marché."

Une planification visant à doter le Québec de programmes de formation recouvrant, tels qu'énumérés plus haut, l'ensemble des biosciences pertinentes à la biotechnologie et l'ensemble des bioingénieries nécessaires à leur mise en oeuvre industrielle peut sembler ambitieuse. C'est pourtant la volonté nettement affirmée dans le programme d'intervention (15).

Nous avons d'ailleurs vu plus haut, en 1.3, que même les "petits pays" n'échappent pas à ce scénario selon les experts de l'OCDE (14). Le rapport lui-même de l'OCDE (13) va encore plus loin, p. 11, en incitant même les pays sous-développés à se doter de compétences locales en biotechnologie.

La révolution bioindustrielle, même si elle n'est pas imminente, est assez prévisible, et les lacunes à combler sont presque partout assez importantes pour inciter tous les pays à se doter de leur propre "force de frappe" en biotechnologie.

Il ne s'agit évidemment pas de viser à une autarcie scientifique et technologique, où toutes les applications faites au Québec résulteraient de découvertes scientifiques faites au Québec. Non plus que de viser à ce que les découvertes faites au Québec trouvent toutes leur utilisation industrielles ici même.

Ce qu'il faut viser, c'est la formation de compétences qui nous permettront d'atteindre et de conserver un certain équilibre à cet égard, dans un secteur de haute compétition sur le plan international, compte tenu de ce que la première utilisation d'une découverte donne une avance indéniable et que, d'autre part, plusieurs des problèmes à résoudre par voie biotechnologique ont une connotation spécifique et régionale, environnement, croissance des végétaux, transformation de la biomasse, etc. C'est dans ce contexte, qui réclame le spectre entier des compétences, qu'il faut nous préparer à mettre à profit les découvertes faites ici évidemment mais également à adapter, et dans les meilleurs délais, les découvertes faites ailleurs, et le cas échéant exporter la technologie résultant des travaux faits ici.

En conséquence, il faut faire "feu de tout bois", pour reprendre l'expression de Pélissolo (5), p. 46, utiliser au maximum toutes les compétences disponibles et leur adjoindre le plus tôt possible le personnel nécessaire pour com-

pléter au moins une couverture minimale du secteur, tant au point de vue biosciences qu'au point de vue bioingénieries. Dans ce contexte, il faudra également utiliser la formation à l'étranger, aussi bien comme voie complémentaire au réseau des programmes de formation québécois, que pour assurer le contact avec les meilleures écoles du monde entier au point de vue biotechnologie.

## 4.2 BIOTECHNOLOGIE ET INTERDISCIPLINARITE.

Nous venons de voir que les programmes de formation proposés par l'ensemble des textes récents ne couvrent pas, pour un étudiant donné, l'ensemble des disciplines impliquées dans le secteur de la biotechnologie, mais mettent au contraire l'accent sur une solide formation disciplinaire au premier cycle, suivie, le cas échéant, d'une spécialisation aux études supérieures à l'aide d'un projet de recherche d'intérêt biotechnologique.

Il est intéressant de rapprocher ce consensus des rapports sur la biotechnologie du début des années 80 et le vent de libéralisation des programmes qui soufflait sur les universités durant les années 70, et de constater que l'objectif visé dans les deux cas était le même: former des scientifiques qui sauront s'attaquer à l'étude des problèmes multi-

formes et complexes qui confrontent l'humanité et parmi lesquels reviennent invariablement l'alimentation, l'énergie, l'environnement, et auxquels s'ajoutent maintenant les problèmes de compétition économique.

Ce n'est donc pas au détriment de la formation disciplinaire qu'il faut ouvrir les programmes de formation aux besoins socio-économiques à la solution desquels les diplômés devront apporter leur contribution, et qui se posent toujours dans un contexte interdisciplinaire. L'ouverture d'approche est un simulacre dans la formation scientifique si elle ne s'appuie pas et si elle ne s'articule pas sur une solide et longue formation disciplinaire.

Cette affirmation de la nécessité d'une solide formation disciplinaire ne saurait en aucun cas être interprétée comme niant le besoin évident pour les programmes de formation préparant à une carrière en biotechnologie et les programmes de recherche qui leur sont associés aux études avancées, de s'ouvrir aux besoins socio-économiques et à leur contexte interdisciplinaire.

En effet, si on se limite comme programme de formation en biotechnologie à un premier cycle traditionnel dans l'une ou l'autre discipline en biosciences ou en bioingénieries, suivi d'études supérieures spécialisées dans l'un des

domaines de la biotechnologie, on aura au mieux un ensemble de spécialités ponctuelles, sans relations les unes avec les autres. Les programmes, en plus d'assurer une solide formation disciplinaire, doivent tenir compte de l'ensemble du secteur et des caractéristiques interdisciplinaires qui sont reliées à sa nature même. Tabler sur une formation disciplinaire forte pour le futur spécialiste en biotechnologie amène comme conséquence évidente la nécessité d'habituer l'étudiant à travailler au sein d'une équipe interdisciplinaire et à dialoguer avec les autres spécialistes de l'équipe.

Nous avons vu en 3.4 que les auteurs du rapport Michaud sur l'interdisciplinarité (28) éprouvaient le besoin de distinguer trois plans sur lesquels joue l'interdisciplinarité, celui de l'unité du savoir, celui de l'unité de la pratique et celui de l'unité de la personne. Nous retrouverons effectivement l'interdisciplinarité sur ces trois plans dans le secteur de la biotechnologie.

Au niveau épistémologique (unité du savoir), elle y interviendra au titre d'interdisciplinarité structurale provenant "de la dynamique interne des disciplines et de la structure de la recherche" (28),p. 80, qui amène une discipline à entrer en contact avec des objets nouveaux et avec d'autres disciplines, ce que nous avons appelé la troisième démarche en 3.6. A la limite, cette démarche pourrait conduire à l'ap-

parition d'une nouvelle discipline. C'est l'hypothèse qu'ont voulu explorer les rapports de la première génération, comme nous l'avons vu en 4.1. Bien plus souvent, cette démarche conduira à l'agrandissement du champ d'étude de la discipline concernée et à l'établissement de ponts avec d'autres disciplines. La biologie végétale par exemple, dans ses développements récents, est d'abord devenue davantage cellulaire, puis moléculaire, tout en restant biologie végétale. Depuis longtemps, la microbiologie s'est rapprochée du génie de la fermentation et a développé une biologie des fermenteurs, à l'intérieur de la microbiologie.

Il va sans dire qu'on rencontrera abondamment cette interdisciplinarité structurale pour chacune des disciplines impliquées dans le secteur de la biotechnologie. C'est d'ailleurs cette démarche elle-même qui a amené les découvertes importantes en biosciences qui sont à l'origine de la biotechnologie actuelle.

Cette interdisciplinarité structurale impliquera qu'un programme de formation de premier cycle dans une bioscience donnée s'ouvre à un certain nombre d'autres disciplines. C'est d'ailleurs le cas dans plusieurs des programmes actuels. On ne conçoit pas un programme de biochimie qui ne comporterait pas de chimie d'une part et de biologie d'autre part, ou un programme de microbiologie qui n'assurerait pas

une base générale dans les autres sciences biologiques d'une part et en biochimie d'autre part.

Cette ouverture des programmes à d'autres disciplines est cependant à réévaluer périodiquement en fonction de l'état d'avancement des connaissances. Et il semble bien que l'évolution récente des biosciences amènera à ouvrir encore davantage cet évantail autour de la discipline principale. De nombreux rapports, dont nous avons déjà fait état, parlent de la nécessité d'ouvrir les programmes de biosciences vers les sciences physiques et vers les mathématiques. A cet égard, la situation au Québec ne semble pas différer de celle qui existe ailleurs. Déjà, nous l'avons vu en 2.1, l'OSF en 1976 (18) allait dans le même sens. L'utilisation de l'informatique semble également devenir de plus en plus nécessaire, par l'évolution même des biosciences.

Nous venons de voir que la nature même de l'évolution des disciplines impliquées les amène en contact avec d'autres disciplines par les nouveaux objets sur lesquels elles se penchent. Cette interdisciplinarité structurale, sur le plan de l'unité du savoir, n'est que l'un des aspects de l'interdisciplinarité en biotechnologie.

Un autre aspect provient de la pratique scientifique en milieu de travail; c'est l'interdisciplinarité restrictive,

que nous avons vu en 3.4. Bien que la chose pourra se produire, à des degrés divers selon le lieu de travail, le scientifique formé en biosciences n'aura généralement pas pour fonctions de travail de faire progresser sa discipline sur le plan épistémologique. Il travaillera plutôt à utiliser ses connaissances et son expertise dans le cadre de la production industrielle ou des services publics. Mutatis mutandi, la même situation vaudra en bioingénierie.

Dans ce contexte, les programmes de formation doivent sensibiliser les étudiants à toute l'étendue du secteur biotechnologie. Déjà au premier cycle, les étudiants doivent voir les différentes techniques biotechnologiques, celles qui relèvent de leur discipline évidemment mais également celles qu'ils sont susceptibles de rencontrer en milieu de travail. Le problème dépasse même les techniques biotechnologiques. Une des recommandations qui revient le plus souvent dans les rapports à cet égard est celle de l'ouverture,dans la formation de premier cycle même,des biosciences aux bioingéniéries, et des bioingénieries aux biosciences.

Pour bien préparer à une carrière en biotechnologie, un programme de premier cycle en biosciences devrait comporter un cours d'initiation à l'ingénierie. Il ne s'agit pas d'assurer à un microbiologiste par exemple une formation d'ingénieur mais de l'initier à ce domaine de façon à lui permet-

tre d'interagir, au niveau de la pratique professionnelle, avec l'ingénieur qu'il côtoiera. Il y aura évidemment pour un tel cours des problèmes provenant de la formation de l'étudiant en sciences physiques et en mathématiques. Il ne s'agit pas de lui imposer à cet égard les prérequis que l'on exige du futur ingénieur mais d'élaborer un cours ad hoc, à partir de ses connaissances dans ces disciplines.

Parallèlement, les futurs bioingénieurs devraient avoir suivi un cours général de biosciences qui, encore une fois, sans en faire des spécialistes, leur aura donné une vue d'ensemble leur permettant de saisir les spécificités de la bioindustrie et d'interagir utilement avec les spécialistes des biosciences.

La création de ces deux types de cours constituera à n'en pas douter une entreprise difficile à laquelle le ministère de l'Education (par exemple par le Fonds de développement pédagogique), les universités et les facultés impliquées devraient consacrer les moyens nécessaires. Cette double entreprise apparaît essentielle en effet dans l'optique de l'émergence d'une bioindustrie.

D'autres disciplines, la chimie par exemple, ont été depuis longtemps en interaction avec l'industrie. Les programmes de formation sont marqués par cette interaction. Dans le

cas de l'ingénieur, le phénomène est encore plus marqué. Il est beaucoup plus récent et beaucoup moins important en biosciences. L'insertion industrielle des activités scientifiques n'a pas encore marqué les programmes de formation. On parviendra à le faire en initiant les futurs spécialistes des biosciences à l'ingénierie, comme nous venons de le voir, mais il faudra également sensibiliser les étudiants aux aspects industriels et commerciaux de l'exercice de leur discipline dans la bioindustrie. Cela peut se faire à l'intérieur des cours, en poussant l'étude des biosciences jusqu'à leurs applications industrielles. On pourra compléter cette sensibilisation en invitant des praticiens de l'industrie à donner des conférences dans le cadre des cours, où ils parleront applications, licences, brevets, etc, ou en ménageant des visites industrielles dans le cadre du programme. Des stages de travail dans l'industrie, durant l'été ou dans le cadre d'un programme COOP, vont évidemment dans le même sens.

Une partie, mais une partie seulement, des moyens évoqués ne pourra être utilisée de façon importante que lorsque la bioindustrie aura davantage d'importance au Québec. Mais l'un des moyens essentiels de développer la bioindustrie est précisément de former une main-d'oeuvre sensibilisée aux applications industrielles des biosciences et initiée aux interactions qu'elle rencontrera dans la bioindustrie.

Dans certains cas, il y aurait même lieu d'aller plus loin encore à cet égard. Dans le cadre d'une industrie fortement "science based" qui est appelée à se développer, c'est même le sens des affaires qu'il faudrait développer chez certains spécialistes des biosciences, parallèlement à leur formation scientifique.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler ici que le développement industriel des nouvelles technologies de pointe s'est souvent fait dans des entreprises de petite taille animées par quelques chercheurs, ce qui semble une variable importante au point de vue innovation technologique, comme nous l'avons vu en 3.5.

On entre probablement ici dans l'interdisciplinarité sur le plan de la personne. On voit régulièrement des ingénieurs ou des chimistes compléter leur formation scientifique par une formation en administration des affaires, MBA par exemple. Ce genre de cheminement personnel de formation, en vue de la carrière envisagée, est pratiquement inexistante en biosciences. C'est pourtant une des voies pour assurer l'entrepreneurship nécessaire à la croissance de la bioindustrie.

Nous venons de traiter des répercutions, essentiellement sur les programmes de premier cycle tant en biosciences qu'en bioingénieries, de la nature interdisciplinaire du sec-

teur de la biotechnologie.

Aussi importante qu'elle soit au niveau de l'enseignement de premier cycle, "l'interdisciplinarité est d'abord et essentiellement une catégorie scientifique, elle concerne avant tout la recherche" comme le dit le rapport Michaud (28), p. 295. La biotechnologie entre de façon évidente dans cette catégorie, et l'interdisciplinarité prendra donc encore plus d'importance aux études supérieures qu'au premier cycle. Les considérations que nous avons faites dans les pages précédentes s'y appliqueront encore davantage si possible.

Encore ici, il ne s'agira pas de former des biotechnologues généralistes. Reprenons à cet égard une citation du rapport Michaud (28), p. 297:

> "...pratique individuelle, l'interdisciplinarité est aussi, et peut-être plus encore, une pratique collective. Il tombe sous le sens, qu'au niveau de la recherche, aucune confrontation solide entre les disciplines ne pourra se faire sans le concours actif de représentants hautement qualifiés de chacune d'elles. Encore faut-il que ceux-ci soient ouverts au dialogue, capables de reconnaître ce qui leur manque et ce qu'ils peuvent recevoir d'autrui. Cette ouverture ne s'acquiert qu'à la longue et dans le travail en équipe interdisciplinaire, qui devrait devenir la règle au niveau de l'initiation à la recherche."

Le projet de recherche associé à un programme d'études supérieures constituera forcément une spécialisation pointue, mais à l'intérieur même de laquelle l'étudiant sera mis

en contact avec des spécialistes hautement qualifiés de plusieurs disciplines, dans un contexte où on voudra concilier le développement des sciences de base et de la formation disciplinaire avec l'intérêt socio-économique qu'ils peuvent présenter. On y arrivera en partie par des cours qui compléteront ceux des études antérieures, mais on y parviendra bien davantage par l'osmose qui s'établira entre l'étudiant et le groupe de recherche dans lequel il poursuit ses études.

## 4.3 FORMATION ET TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

Il y a évidemment un danger de laisser aux départements universitaires existants la formation de ceux qui travailleront en biotechnologie. Le rapport Stewart (12) le reconnaît, p. 26, tout en estimant cependant que c'est là la meilleure solution:

> "We recognize the limitations in our approach; biotechnology as a new focus can easily be swamped by the central concern of an existing department, whether of chemical engineering, biochemistry, applied biology or other descriptive. Nevertheless we believe this to be the right solution and positive planning must occur within and between universities and colleges: (i) to develop interdisciplinary teaching; (ii) to ensure staffing with appropriate specialisations; (iii) to see that new staff are appointed to fill the gaps in expertise which undoubtedly exists; and (iv) most important,to ensure that at the same time basic skills of particular disciplines such as chemical engineering are adequately and rigourously imparted."

Le danger, en terme de planification, c'est que les chercheurs du premier volet se limitent à faire de l'excellente recherche, et que l'industrie existante continue à tourner en utilisant les techniques connues ...et qu'il ne se produise pas de transfert entre les deux. Autrement dit que le deuxième volet ne fonctionne pas, voir 2.2, que "le courant ne passe pas."

Pour éviter ce danger, le rapport Stewart propose, dans un contexte de collaboration intra- et inter-universitaire, quatre conditions dont l'ensemble constitue un programme dont il ne faut pas sous-estimer la difficulté mais qu'on retrouve, de façon presque identique, dans de très nombreux rapports.

Le point iv, de la solide formation disciplinaire, a été traité en 4.1. Le point i, de l'interdisciplinarité, a été traité en 4.2. Nous aurons à y revenir cependant, de même qu'aux points ii et iii, ainsi qu'à la collaboration entre les unités impliquées, à l'occasion de la rubrique que nous abordons présentement et qui concernera essentiellement l'organisation des études supérieures, et surtout celle de la recherche qui les soustend, pour arriver à constituer un milieu de formation permettant d'atteindre les objectifs fixés au secteur de la biotechnologie.

La seule façon d'assurer que les programmes de formation débouchent sur le transfert technologique des connaissances vers la solution des problèmes socio-économiques, et tiennent compte de l'interdisciplinarité des problèmes impliqués, consiste à sensibiliser davantage les professeurs d'université eux-mêmes et à les amener à oeuvrer encore plus dans cette direction, tout en respectant la spécificité de l'activité scientifique universitaire. Les programmes de formation, tant au premier cycle qu'aux études supérieures, seront fortement influencés par l'attitude des professeurs à cet égard. Cette influence sera déterminante; sans elle on ne peut espérer de modifications importantes.

Nous avons souligné en 3.6 que, depuis une quinzaine d'années, bon nombre de professeurs d'université ont réussi à concilier le développement des connaissances dans leur discipline et la réponse aux besoins socio-économiques, en orientant leurs recherches vers des objets présentant de l'intérêt aux deux égards. La biotechnologie est un exemple particulièrement intéressant à ce point de vue. Les experts chargés d'étudier le rapport de l'OCDE (13) notent dans leur compte rendu (14), p. 8:

> "L'un des problèmes est que nombre de chercheurs pensent que le seul travail valable en biotechnologie est celui qui concerne de nouveaux produits. En fait, il est possible de développer des projets de R-D qui ont tout à la fois une importance fondamentale et une utilité industrielle."

Le problème est de nature épistémologique mais il a également des racines dans la perception que les scientifiques ont de leur activité et de sa spécificité en milieu universitaire. On peut, en effet, se demander si les chercheurs universitaires qui s'engagent dans cette voie font de la recherche appliquée ou de la recherche fondamentale. C'est évidemment un vieux débat, mais auquel on n'échappe pas dans un secteur comme celui de la biotechnologie.

Dans ce secteur, selon le programme d'intervention (15), qui reprend à cet égard une idée d'un rapport de l'OCDE, p. 32, "la distinction traditionnelle entre recherche fondamentale et recherche appliquée n'a qu'une pertinence limitée". Et pourtant tout le monde éprouve le besoin d'utiliser quand même ces deux mots, y compris les auteurs du rapport d'intervention eux-mêmes.

Ce paradoxe provient d'un double usage du mot fondamental qui qualifie parfois la recherche de base, qui cherche à expliquer les phénomènes en se plaçant au niveau des fondements de la discipline, par opposition à une recherche plus empirique, cherchant davantage à décrire qu'à analyser, à prédire qu'à expliquer, à utiliser les phénomènes qu'à les comprendre.

Par contre, recherche fondamentale, dans un autre

registre, voudra signifier recherche pure, visant le progrès des connaissances, par opposition à recherche appliquée, visant la solution de problèmes socio-économiques.

La première distinction est méthodologique, la seconde peut n'être que de l'ordre des intentions du chercheur et de ses objectifs. Ni l'une ni l'autre des distinctions ne devrait comporter de jugement de valeur des activités en question. Dans certains milieux universitaires, elles en comportent un cependant.

De toutes façons, il doit être bien clair que lorsqu'on dit que le développement de la biotechnologie est tributaire de la recherche fondamentale dans les biosciences, c'est au sens recherche de base que l'on veut dire, compte tenu des développements prodigieux à ce niveau depuis quelques décennies. C'est ce qu'affirme, entre autres, le rapport de l'OCDE (13), p. 12:

> "Le succès final de la biotechnologie dépend des progrès des sciences fondamentales qui la sous-tendent et de l'appui que lui apportent celles-ci. Si on emprunte des raccourcis, que l'on procède de manière empirique et que l'on accorde une attention superficielle aux principes scientifiques fondamentaux, il est probable que l'on aboutira au mieux à un rendement médiocre des procédés et au pire à des échecs coûteux."

La recherche empirique dans les biosciences, comme dans les autres disciplines, a eu ses heures de gloire et elle

a constitué une étape historique indispensable au développement de ces disciplines et évidemment à certaines de leurs applications. Elle a encore son importance dans certains domaines et dans certains contextes. Par contre, dans le cas de la biotechnologie, ce sont essentiellement des recherches fondamentales que viendront les progrès.

Que ces recherches fondamentales soient pures ou appliquées est une distinction d'un autre ordre. Et c'est cette distinction-là qui est moins pertinente dans le cas d'un secteur aussi fortement "science based" que la biotechnologie. Mais même ici des nuances s'imposent. En effet, dans ce registre, on pourrait évidemment penser qu'à la limite une recherche appliquée puisse consister uniquement dans l'utilisation des connaissances acquises en recherche de base,pour solutionner des problèmes, sans progrès dans les connaissances de base elles-mêmes. C'est contre ce type de recherche exclusivement appliquée que le rapport Delapalme mettait les universités en garde de façon générale, comme nous l'avons vu en 3.6; alors que dans le secteur de la biotechnologie en particulier, tous les rapports insistent pour dire que si les recherches universitaires peuvent, quand l'état d'avancement des connaissances s'y prête, aller jusqu'aux applications, elles doivent toujours viser l'accroissement des connaissances de de base, essentiel au progrès du secteur. C'est dans ce sens

que les recherches universitaires en biotechnologie pourront être plus ou moins près des applications, essentiellement en fonction du jugement porté sur l'état d'avancement des connaissances de base et sur leur évolution probable, c'est-à-dire en fonction de l'évaluation scientifique du domaine, qui devra être faite parallèlement à l'évaluation sociale et à l'évaluation technologique de l'innovation, comme l'indique le rapport Delapalme (37), voir 3.6. Même si les besoins sont là, de même que la pression sociale et politique, il serait vain de tenter d'appliquer des connaissances encore non opérationnelles à la solution des problèmes.

C'est dans ce sens, comme l'indique d'ailleurs le contexte, qu'il faut lire l'affirmation générale de "Un projet collectif" (43), p. 52,

> "...tous les types de recherche - de la plus pure à la plus appliquée, de la plus libre à la plus orientée - ont leur place à l'université",

affirmation que le programme d'intervention (15) reprend dans le cas du secteur biotechnologie, p. 36.

La"pertinence limitée" de la distinction fondamentale-appliquée dans ce sens est liée à la nature même du secteur. Si l'on associe la recherche fondamentale à la découverte et la recherche appliquée à l'innovation, on comprendra que le fréquent télescopage découverte-innovation, propre aux secteurs

fortement "science-based" (voir 3.6), enlève une bonne partie de sa pertinence à cette distinction.

Elle en conserve une cependant, et qui est importante. En effet, si l'on tient compte de l'incertitude dans l'évolution du secteur de la biotechnologie, il faut bien admettre que le fait pour un chercheur de déclarer sa recherche "appliquée" témoigne au moins autant, sinon davantage, de la mobilisation de ce chercheur à l'égard des problèmes socio-économiques, que de la probabilité que ses recherches donnent effectivement lieu à des applications.

Les chercheurs ainsi mobilisés auront le soucis, advenant une découverte (ce qui comporte toujours une large part d'imprévisible), d'en analyser l'intérêt dans le cadre des besoins socio-économiques, d'en envisager eux-mêmes les applications possibles et de s'assurer si nécessaire de la collaboration de spécialistes d'autres domaines pour les réaliser; autrement dit d'être partie active au transfert technologique de leurs découvertes et d'y engager leur expertise et leur compétence, au lieu de s'en remettre à d'autres pour l'effectuer. Bien au delà de la déclaration "recherche appliquée", c'est évidemment cette mobilisation de la recherche universitaire qu'il faut susciter et encourager dans le secteur de la biotechnologie.

Une telle mobilisation favorisera le choix d'objets

de recherches présentant de l'intérêt au point de vue fondamental tout en se situant dans les domaines les plus prometteurs en terme de retombées éventuelles et de transfert technologique dans les filières d'application prévisibles pour la biotechnologie.

Un deuxième résultat de cette mobilisation, qui est beaucoup plus spécifique à l'objet du présent chapitre sur les programmes de formation, sera d'assurer un milieu de formation propice pour la main-d'oeuvre requise pour le secteur, étant donné qu'un des éléments-clés de cette formation sera souvent la spécialisation, aux études supérieures, au sein d'une équipe de recherche oeuvrant dans le secteur, et que par ailleurs, même au premier cycle, les professeurs impliqués seront en grande partie les membres de ces mêmes équipes de recherche.

Dans une perspective qui déborde évidemment la biotechnologie, le rapport de l'OCDE sur "La politique scientifique et technologique pour les années 1980" (42) insiste, p. 51 et ss., sur cette mobilisation du milieu universitaire vers les objectifs socio-économiques. Tout comme les auteurs du rapport Delapalme (37) l'avaient fait, voir 3.6, les auteurs de ce rapport replacent cette mobilisation dans une perspective de long terme et d'excellence scientifique, p. 71:

"Si la santé économique et le développement futur des sociétés industrialisées dépendent de leur aptitude à exploiter les possibilités que leur ouvre la recherche universitaire, c'est à condition que cette relation soit pensée dans une perspective à long terme. Le risque existe en effet qu'en concentrant l'effort scientifique sur des besoins à court terme et des "bénéfices" immédiats, on compromette l'édification et la préservation d'un potentiel scientifique de base vigoureux et équilibré, garantie à la fois de possibilités nouvelles d'application et de formation du personnel hautement qualifié nécessaire pour les exploiter."

En pratique, pour couvrir le secteur biotechnologie en terme de programmes de formation aux études avancées, dans une perspective de formation débouchant sur le tranfert technologique et ce, dans l'ensemble des filières d'applications, c'est évidemment sous ce dernier aspect qu'il faudra examiner les programmes. Il faudra donc s'assurer qu'il existe, dans le réseau des universités québecoises, au moins une équipe interdisciplinaire de haut calibre scientifique, orientée vers chacune des filières dans lesquelles on pressent des retombées intéressantes. C'est là la couverture minimale. Dans le cas de certaines filières, trop hétérogènes au point de vue des biosciences, des biotechnologies et/ou des bioindustries impliquées et par là trop vastes, tout comme dans le cas de filières qui auraient reçu une priorité nationale considérable, on voudra peut-être même prévoir plus d'une équipe dans une même filière.

Dans chaque cas, l'équipe devra comprendre des spé-

cialistes des biosciences et des bioingénieries qui sont impliquées dans la filière en question. Les étudiants seront généralement inscrits dans les programmes-cadres d'études avancées existant en science ou en ingéniérie et feront leur travail de recherche sous la direction d'un professeur, voire sous co-direction, mais de toute façon au sein de l'équipe interdisciplinaire dont ils pourront également profiter au niveau des cours. Une telle organisation des études supérieures n'est pas nouvelle. Elle se pratique déjà en biotechnologie comme dans d'autres secteurs. Elle doit évidemment s'appuyer sur des départements forts, d'où viendront les membres de l'équipe, mais elle dépasse, au point de vue planification, le niveau départemental. Elle suppose une collaboration entre départements, aussi bien de sciences que d'ingénieries, et entre ces deux ensembles. En fait la planification, tant dans la programmation de la recherche que dans l'engagement des professeurs, doit se faire au niveau de l'université et même en collaboration inter-institutionnelle pour arriver à la couverture la plus efficace possible du secteur, dans un contexte de ressources limitées.

Nous retrouvons ici les conditions posées par le rapport Stewart (12), que nous avons citées au début de la présente rubrique, pour que le développement de la biotechnologie profite des forces de la structure départementale, sans

que cette structure ne devienne une entrave.

La distribution des équipes de recherche dans l'ensemble du réseau des universités demandera évidemment une concertation inter-institutionnelle et même une collaboration dans les cas où une équipe comprendrait des membres de plusieurs établissements.

A l'intérieur même d'un établissement, selon la planification retenue, il faudra s'assurer que le corps professoral des départements couvre bien les biosciences au niveau fondamental et les bioingénieries requises, ou que l'on s'assure de collaborations de l'extérieur dans le cas contraire. Il faudra s'assurer également que l'ensemble des membres de l'équipe ainsi constituée ne présente pas de lacunes en fonction de la programmation de recherche, lacunes qu'il faudra combler le cas échéant par des réorientations ou par l'engagement de nouveaux professeurs.

L'état de certains départements de sciences biologiques entre autres, comme nous l'avons vu en 2.1, laisse entrevoir que, dans certains cas, les conditions que nous venons d'évoquer seront difficiles à réaliser et qu'il faudra d'abord revitaliser certains départements, redéfinir leur champ d'activité, particulièrement face à celui des facultés professionnelles. Le problème n'est pas nouveau, comme nous l'avons vu,

mais l'intérêt manifesté présentement pour la biotechnologie, qui à n'en pas douter sera durable, est une occasion supplémentaire à saisir pour le résoudre.

## 4.4 LA SITUATION ACTUELLE

Pour réaliser la planification que nous venons de voir en terme de programmes de formation, il y avait évidemment lieu de s'enquérir de la situation actuelle des activités biotechnologiques dans les universités québécoises.

Entre autres, pour constituer, ou compléter le cas échéant, cet ensemble d'équipes fortes oeuvrant dans chacune des grandes filières biotechnologiques, et qui constitueront le milieu de formation aux études avancées pour la main-d'oeuvre requise, le premier pas consistait évidemment à faire l'inventaire des projets de recherche en cours dans le secteur et des équipes à l'oeuvre, et parallèlement l'inventaire des autres activités reliées à la biotechnologie.

C'est ce que fait présentement le Comité sur la formation en biotechnologie, du Conseil des universités, à l'aide des documents que les établissements universitaires lui ont soumis. Ce travail est considérable évidemment, étant donné le fait qu'on retrouvera des activités potentiel-

lement intéressantes pour la biotechnologie, aussi bien dans des départements de science que d'ingénierie, ou en médecine, en foresterie, en agriculture, en alimentation, en médecine vétérinaire, etc, ainsi que dans des centres de recherche rattachés aux universités.

Ce morcellement des activités est dû à la nature même du secteur et témoigne bien de son interdisciplinarité. Plusieurs établissements ont d'ailleurs éprouvé le besoin de créer un comité de coordination, voire de planification, des activités dans le secteur.

Dans l'étude de l'ensemble de ces activités, compte tenu de l'imprévisibilité de l'évolution du secteur, l'évaluation de pertinence biotechnologique des activités ne sera pas toujours facile à faire. Par contre, compte tenu de ce que nous avons vu au cours du présent ouvrage, la pertinence devra être évaluée non seulement en fonction des objectifs poursuivis en réponse à des besoins socio-économiques, mais également en fonction de l'état d'avancement de la technologie et de l'état d'avancement des sciences de base.

Dans cette optique, on pourrait donc trouver beaucoup de pertinence à des activités très fondamentales, apparemment très éloignées des applications, mais qu'on estime prometteuses à cet égard. Alors que des activités très appliquées pourraient être jugées peu pertinentes parce que ne s'ap-

puyant pas suffisamment sur les principes fondamentaux, les seuls qui soient prometteurs de progrès et d'innovation dans ce secteur.

Outre ce critère de pertinence au secteur, il va sans dire que l'analyse de la situation actuelle devra faire intervenir à plein les notions de mobilisation des établissements et de force des département de base et, pour les équipes, de masse critique, d'excellence scientifique et de collaboration interdisciplinaire. Ce sera à la lumière de cette analyse qu'on verra comment compléter le réseau des équipes en question.

Ces équipes constitueront le lieu de formation initiale aux études supérieures en biotechnologie. Elles pourront également constituer le lieu de recyclage et de formation permanente pour les praticiens ou les chercheurs de l'extérieur qui voudraient parfaire leur formation. A condition évidemment que cette activité ne prenne pas une ampleur telle qu'elle détourne l'équipe de son travail de recherche et de formation initiale. Cette activité de formation permanente est d'ailleurs prévue dans le programme d'intervention (15), p. 25, sous le nom d'unités de formation technique et méthodologique, UFTM. Au titre de la formation permanente, il faut aussi mentionner l'existence d'une formule fort répandue aux Etats-Unis de cours intensifs de perfectionnement dans les

développements récents dans le secteur. L'université Concordia notamment utilise cette formule ici,en biotechnologie.

Ces éléments de formation permanente complètent fort utilement le réseau des programmes de formation que nous venons de décrire et qui seront fortement articulés autour du réseau des équipes travaillant dans chacune des grande filières d'application.

L'ensemble des équipes auquel on arrivera, malgré tous les efforts de regroupement et de collaboration, ne recouvrira pas l'ensemble des chercheurs universitaires reliés à la biotechnologie. En marge du réseau des grandes équipes, on retrouvera des équipes plus petites, voire des chercheurs individuels. Et il est normal et souhaitable qu'il en soit ainsi. On ne peut pas penser à tout planifier et à tout organiser dans un secteur impliquant à ce point les sciences fondamentales, où il faut savoir ménager une place à l'imprévu et à l'inattendu surtout si, dans le voisinage, on dispose du potentiel nécessaire pour utiliser l'inattendu lorsqu'il se présente.

## 4.5 LES RELATIONS UNIVERSITE-INDUSTRIE.

Ce travail de planification en matière de programmes

de formation doit se faire au Québec, comme dans beaucoup d'autres pays,il faut le dire, avec fort peu d'input de la part de l'industrie à laquelle, en grande partie, préparent pourtant ces programmes. Le marché de l'emploi industriel prendra de l'importance, mais il est encore largement potentiel comme nous l'avons vu en 2.3.

Dans un tel contexte de développement en "research push", les chercheurs universitaires doivent pousser probablement un peu plus loin que dans d'autres secteurs le soucis de déceler les innovations que peuvent constituer leurs découvertes, ou celles auxquelles elles peuvent mener, et former les étudiants dans cette voie. Et ce, sans avoir, autant que dans un secteur industriel développé, la collaboration et le support de l'industrie.

Dans beaucoup d'autres technologies, où le même problème existe au niveau du transfert des découvertes vers les applications, voire de l'orientation de la recherche, il est arrivé souvent que la grande industrie forme elle-même, sur le tas, ses propres scientifiques, après leur formation initiale à l'université, à penser application dès qu'une découverte surgit et à penser utilisation des connaissances acquises dès qu'un besoin apparaît.

Il faut cependant pour ce faire que l'industrie ait

les moyens d'engager des scientifiques en nombre suffisant et ait également les moyens d'investir dans des recherches à moyen sinon à long terme, avec des probabilités de réussite parfois faible ...mais des retombées importantes en cas de réussite. Que l'on pense au nylon ou au valium.

Parallèlement à ce complément de formation donné à ses employés, dans une perspective de transfert, même la très grande industrie, et a fortiori l'industrie de taille plus modeste, a toujours cherché à tirer profit des découvertes des chercheurs universitaires. L'industrie, par des collaborations avec l'université, cherchera à orienter les travaux des chercheurs universitaires dans les directions qui l'intéressent et s'attachera souvent les services du chercheur à titre de consultant pour la phase d'application, ou pour maximiser ses propres efforts de recherche.

Ce type de collaboration université-industrie a toujours existé et il est appelé à prendre encore plus d'importance, surtout dans les secteurs "knowledge intensive" comme la biotechnologie, où l'expertise préalable à une découverte, et par là à l'innovation, devient de plus en plus grande.

Ces relations université-industrie constituent par ailleurs l'occasion par excellence pour l'industrie d'influencer les programmes de formation en les orientant vers ses

besoins. Un exemple assez évident de ce "market pull" sur les programmes de formation a été celui exercé par l'industrie pharmaceutique sur les programmes de chimie au Québec. Les similitudes en sont probablement assez grandes avec la biotechnologie.

Si la chimie organique de synthèse occupe une place aussi importante dans les programmes universitaires de chimie au Québec, cela est dû en bonne partie aux relations avec l'industrie pharmaceutique qui constituait à la fois un employeur important de diplômés, un utilisateur des découvertes des professeurs, un lieu privilégié d'activités de consultation pour les professeurs, une source de conférenciers pour les séminaires de recherche, et même de membres externes pour les jurys de thèses.

Le déclin de l'industrie pharmaceutique a profondément modifié les relations université-industrie dans ce secteur, mais les universités québecoises ont heureusement su conserver leurs équipes de recherche fortes et de grande réputation en synthèse organique.

Ce genre d'interactions, où se développent à la fois et mutuellement les équipes de recherche universitaires et les industries "science-based" qui y correspondent, est évidemment ce que l'on voudrait susciter en biotechnologie ...en espérant

évidemment que les moyens seront pris pour que le scénario n'aboutisse pas à l'impasse dans laquelle se trouve présentement l'industrie chimique pharmaceutique.

De toutes façon, nous n'en sommes pas à considérer la fin du scénario en biotechnologie, mais son début. Et, dans ce secteur au Québec, il faudra encore beaucoup de temps avant que le "market pull" ne joue son rôle de façon importante, tant dans l'orientation des travaux de recherche universitaire que dans celle des programmes de formation. Il faudra donc faire appel au maximum aux autres moyens susceptibles d'orienter les programmes universitaires reliés à la biotechnologie vers les besoins socio-économiques et le transfert technologique.

Nous rejoignons ici la mobilisation du milieu universitaire dont nous avons parlé en 4.3. Pour la susciter, les moyens sont nombreux. Les énoncés de politique scientifique des gouvernements, les prises de position des organismes officiels de même que celles des établissements universitaires eux-mêmes sont importants à cet égard, de même que les subventions thématiques pour les chercheurs et les bourses sectorielles pour les étudiants.

La plupart des rapports éprouvent cependant le bebesoin de recommander des dispositifs encore plus spécifiques

en biotechnologie, pour compenser la faiblesse de l'interaction avec l'industrie. Ces dispositifs se regroupent sous trois types:

- l'organisme institutionnel de valorisation de la recherche, souvent sur le modèle de celui de l'Institut Pasteur à Paris (2), p.128 et ss., qui existe dans certains établissements universitaires au Québec, et qu'on aurait intérêt à généraliser.

- L'organisme de liaison entre les industries et les universités, comme le CRIQ, au Québec, ou l'ANVAR, en France, où s'adressera l'industrie pour avoir accès à l'expertise universitaire.

- L'organisme de soutien de la R-D par commandite (15), p. 35, suscitant des activités dans l'université et s'employant à en implanter les retombées dans le milieu industriel.

A ces dispositifs qui répondent à des besoins évidents, il faudra ajouter des subventions "ad hoc" tant en personnel qu'en équipement entre autres, si on veut mettre sur pied un réseau de programmes de formation qui ne sera peut-être pas parmi les plus fréquentés mais qui est essentiel au Québec.

# CONCLUSION

Rarement la politique scientifique et technologique aura-t-elle été en avance sur le développement scientifique et technologique lui-même: avec la biotechnologie, nous vivons probablement une première historique à cet égard. Ce n'est pas tant l'application des découvertes déjà faites qu'il faut planifier. Ce sont les découvertes elles-mêmes qu'il faut susciter dans un secteur dont on pressent qu'il aura des retombées importantes au point de vue social et au point de vue économique.

De très nombreux gouvernements l'ont senti, dont celui du Québec. Les modèles d'intervention politique en science, de même que les modèles d'interaction science-technologie-société qui les sous-tendent, et les idées reçues sur les modes d'interaction entre disciplines et leurs implications en recherche et en enseignement, ont cependant été à revoir à cette occasion. La décennie 70 avait apporté beaucoup de questions à ces égards, mais peu de réponses. D'où, à l'occasion du cas concret de la biotechnologie, la prolifération,

probablement sans précédent pour aucun autre secteur, des rapports, textes et prises de position.

Le scénario de développement que l'on retrouve le plus fréquemment dans ces textes, surtout les plus récents, est très global, très large dans le choix des créneaux, favorise la recherche fondamentale dans l'ensemble des biosciences qui sont en amont des biotechnologies, cherche à établir le pont entre ces recherches et leurs applications industrielles, prend pour objectif le développement des industries susceptibles de faire appel à la biotechnologie et finalement, diffère à assez long terme les choix qui baliseront, et limiteront, le développement en termes de disciplines, de techniques et de filières d'application.

Ce scénario implique un accroissement des activités dans les trois volets du secteur, les biosciences, les biotechnologies et les bioindustries et suppose, au point de vue de la main-d'oeuvre,

- de former des chercheurs qui travailleront au niveau fondamental dans les voies qui semblent les plus prometteuses,
- de former des chercheurs qui travailleront à appliquer, en réponse aux besoins socio-économiques, les connaissances acquises dans les disciplines nourricières de la biotechnologie,
- de former la main-d'oeuvre qui utilisera ces applications au niveau industriel.

Etant donnée l'ampleur du secteur, il n'est pas pensable de former des "biotechnologues" dont l'expertise s'étendrait à l'ensemble de la biotechnologie.

Etant donnée l'importance de l'articulation entre les trois volets, il ne serait pas judicieux d'identifier les programmes de formation de façon spécifique à l'un des trois volets.

Etant données les nombreuses interactions existant dans le secteur, il serait encore moins utile de former un ensemble de spécialités cloisonnées à l'intérieur de chacun des volets.

La solution semble être d'assurer une solide formation de premier cycle dans une discipline en biosciences ou en bioingéniérie, formation ouverte sur les disciplines voisines, au cours de laquelle on aura sensibilisé l'étudiant aux aspects applications industrielles et commerciales de sa discipline, et au cours de laquelle également on aura initié les étudiants en biosciences à l'ingénierie, et les étudiants en ingénierie aux biosciences.

Cette formation de premier cycle pourra conduire, pour les étudiants qui le désirent, à une spécialisation au niveau des études avancées où l'élément central de formation sera le projet de recherche dans un domaine d'intérêt

biotechnologique effectué au sein d'une équipe interdisciplinaire forte, mobilisée à la fois vers le progrès des connaissances de base et vers leur transfert à la solution de problèmes socio-économiques.

La volonté politique de développement du secteur est maintenant très nette au Québec et ses modalités sont tout-à-fait cohérentes, non seulement avec un grand nombre des rapports sur la biotechnologie mais également avec la nouvelle conception de la relation science-société telle qu'elle s'exprime dans les plus récents rapports de l'OCDE sur la question (37)(42). Il est d'ailleurs révélateur que, pour la première fois semble-t-il, un rapport international (42) fasse état, p. 22, de ce qui se fait au Québec en matière de politique scientifique.

Outre l'action au niveau politique, qui témoigne des besoins socio-économiques, plusieurs établissements universitaires s'orientent, au niveau institutionnel, vers ce secteur.

Des ressources humaines sont disponibles et déjà à l'oeuvre dans les universités. Il faudra évidemment les accroître pour couvrir de façon concertée l'ensemble du secteur.

Des programmes de formation peuvent déjà servir et être améliorés à court terme.

Des éléments d'une bioindustrie sont en place, que stimuleront les investissements publics d'abord, puis privés ensuite.

On peut se montrer optimiste. On doit se montrer optimiste, malgré l'ampleur de la tâche qui reste à accomplir, qu'il ne faut surtout pas sous-estimer.

Opportunité, volonté et ressources sont déjà là. Il faut continuer à affirmer la seconde et hausser les troisièmes, en gardant bien à l'esprit les étapes qui restent à parcourir. Volonté de développement et ressources accrues devront s'accompagner de la collaboration entre les divers intervenants, à un degré que nous n'avons peut-être pas encore connu:

- collaboration entre les départements universitaires qui doivent poursuivre leur approfondissement disciplinaire mais en s'ouvrant encore davantage aux autres disciplines et aux besoins socio-économiques,
- collaboration entre établissements universitaires pour arriver à une couverture adéquate de l'ensemble du secteur et des programmes de formation qui y préparent,
- collaboration université-industrie, préalable à l'essor d'une bioindustrie moderne,
- collaboration interministérielle au Québec, ministères à vocation économique bien sûr mais aussi, évidemment, ministère

de la Science et de la Technologie, avec le programme d'intervention pour le développment de la recherche en biotechnologies au Québec, et le ministère de l'Education au point de vue des programmes de formation et des activités de recherche universitaire,

- collaboration également avec le gouvernement fédéral tant au niveau des subventions de recherche, dont la proportion est trop faible au Québec, qu'au niveau, par exemple, du centre de recherche en biotechnologie que le Conseil national de recherche du Canada est à implanter à Montréal,

- collaboration enfin au niveau international, tant pour compléter le réseau québécois des programmes de formation que pour permettre à nos chercheurs le contact enrichissant avec les plus grands centres de biotechnologie au monde.

Il ne fait pas de doute que certaines de ces collaborations sont déjà bien amorcées. L'effort à faire est encore très important cependant.

Dans cet ensemble, le défi est grand pour l'université, qui a un rôle central à jouer dans le développement du secteur. Et pourtant les contraintes qu'elle subit présentement sont lourdes. Le rapport de l'OCDE, sur "La politique scientifique et technologique pour les années 1980" (42), énumère précisément, p. 73 et ss., les problèmes principaux auxquels l'université a à faire face actuellement, et qui présen-

tent une étrange constance d'un pays à l'autre:

a) "le déclin des inscriptions en deuxième et troisième cycle" dans un contexte de financement per capita,

b) "le "vieillissement" de la communauté universitaire" dont les effectifs dans un secteur donné reflètent les besoins socio-économiques par le seul biais des inscriptions étudiantes,

c) "le coût des équipements scientifiques" et de leur renouvellement dans une phase d'évolution très rapide de la technologie instrumentale, support pourtant essentiel à une recherche de qualité et à une formation adéquate au marché de l'emploi,

d) "le personnel auxiliaire" qu'il est difficile de recruter, à cause des contraintes budgétaires, dans des postes permanents,

e) "le phénomène de bureaucratisation", l'accroissement de la paperasserie liée aux demandes de subvention et à leur justification, en plus du contrôle des dépenses par la suite, prend une part de plus en plus importante du temps des chercheurs,

f) "le conflit entre les différentes fonctions de l'université", la tendance à vouloir constituer artificiellement deux voies séparées et distinctes dans l'université, l'une pour l'enseignement, l'autre pour la recherche,

g) "les liens entre l'université et l'industrie", où le rapport reprend tout le problème que nous avons déjà vu en 3.6 provenant du fait que l'industrie se détourne de la recherche à long terme et qu'en réaction, on voudrait demander à l'uni-

versité de prendre la relève en suppléance et de se tourner vers les recherches appliquées d'intérêt industriel, au détriment de la recherche fondamentale et au détriment du développement industriel lui-même à long terme.

Ces problèmes sont loin d'être spécifiques à la biotechnologie mais ils y sont très importants et sont, tous et chacun d'entre eux, susceptibles, si on n'y remédie pas, de freiner le développement de la biotechnologie comme celui d'autres secteurs, évidemment.

La révolution biotechnologique nous rejoindra de toutes façons et il faut nous y préparer quelle que soit la forme qu'elle prendra et peu importe les compétences qu'elle requerra. Il ne s'agit pas par conséquent de préparer de la main-d'oeuvre dans un petit nombre de domaines ponctuels, aussi prometteurs qu'ils puissent nous sembler, et d'injecter des subventions dans quelques équipes qui pourraient assurer cette formation. Ce genre d'action n'est pas à exclure. Il doit cependant s'ajouter à un effort beaucoup plus global de développement des biosciences en amont de la biotechnologie, effort où, à long terme, l'université, l'industrie et la société en général trouveront leur compte chacun dans sa sphère de compétence.

BIBLIOGRAPHIE

A) Les rapports et textes de prises de position sur la biotechnologie:

(1) F. Gros, F. Jacob et P. Royer: "Sciences de la vie et société" - rapport présenté à M. le Président, La Documentation française, 1979, Paris.

(2) J. de Rosnay: "Biotechnologies et bio-industries", annexe au rapport précédent, Seuil, La Documentation française, 1979.

(3) A. Spinks et al.: "Biotechnology" - Report of a Joint Working Party, ACARD, ABRC et la Royal Society, HMSO, 1980, Londres.

(4) "Biotechnology in Canada: Promises and Concerns", Conseil des Sciences du Canada, 1980, Ottawa.

(5) J.-C. Pélissolo: "La biotechnologie, demain?" - rapport à M. Le Premier ministre, Secrétariat d'état à la recherche, DGRST, 1980, Paris.

(6) M. Brossard et al.; "Biotechnologie: un plan de développement pour le Canada",MEST, 1981, Ottawa.

(7) "Biotechnology" - livre blanc, suite au rapport Spinks, "presented to Parliament by the Secretary of State for Industry by Command of Her Majesty", HMSO, 1981, Londres.

(8) "Impacts of Applied Genetics: Micro-Organisms, Plants and Animals", Office of Technology Assessment, Congress of the United-States, 1981, Washington.

(9) J. H. F. van Apeldoorn et al. : "Biotechnology: a Dutch perspective.", the Netherland Study Centre for Technology Trends, STT, Delft Universty Press, 1981.
(10) "Biotechnology for Australia.", a report to the executive of CSIRO, by a special committee of Review, 1981.
(11) D.E. Whitten: "Japanese Biotechnology - Japanese Manufacturers get the Bug", BACHE Japanese Research, Tokyo, 1981.
(12) W.D.P. Stewart et al.: "Biotechnology and Education", the report of a working group, The Royal Society, London, 1981.
(13) A.T. Bull et al.: "Tendances internationales et perspective en biotechnologie", Biotechnologie et politiques gouvernementales, Comité de la politique scientifique et technologique, OCDE, 1982, Paris.
(14)"Compte rendu de la réunion: "Tendances internationales et perspective en biotechnologie" et recommandations des experts", 17-18 mars 1982, OCDE, Paris.
(15) "A l'heure des biotechnologies", programme d'intervention pour le développement de la recherche en biotechnologies au Québec, Phase I: 1982-1987, Secrétariat à la Science et à la Technologie, 1982, Québec.
(16) G. Badger et al.: "Biotechnology in Australia", a report to the prime Minister by the Australian Science and Technology Council, 1982, Canberra.
(17) "Le mandat d'une étude sur les biotechnologies dans les industries canadiennes de matières premières", Conseil des

Sciences du Canada, 1982, Ottawa.

B) Bibliographie générale

(18) S. Lapointe et al.: "Opération sciences fondamentales: rapport au ministre de l'Education, planification sectorielle de l'enseignement supérieur", Ministère de l'éducation, 1976, Québec.

(19) R. Saucier: "Opération sciences fondamentales: Dossier de sous-secteur, Sciences biologiques; 1ère partie: analyse de la situation actuelle", Ministère de l'éducation, 1974, Québec.

(20) "Rapport du groupe de travail interministériel sur les bioindustries", 13 août 1982, Québec.

(21) V. Bush: "Science, The Endless Frontier", a report to the President, 1945, Washington.

(22) J.J. Salomon: "Science Policy Studies and the Development of Science Policy", chap. 2 de "Science, Technology and Society", édité par I. Spiegel-Rösing et D. de Solla Price, Sage, 1977, Londres et Beverly Hills.

(23) E. Layton: "Conditions of Technological Development", chap. 6 de réf. (22).

(24) H. Brooks et al.: "Science, croissance et société, une perspective nouvelle", OCDE, 1971, Paris.

(25) J.J. Salomon: "L'engagement social du scientifique",

Les Presses de l'Université de Montréal, 1971, Montréal.
(26) G. Herzberg: "Science and Society", The Basterfield lecture series, lecture no. 17, 12 octobre 1973, University of Saskatchewan, Régina.
(27) M. Lamontagne: "Une politique scientifique canadienne", vol. 1, Comité sénatorial de la politique scientifique, 1971, Information-Canada, Ottawa.
(28) G. Michaud et al.: "L'interdisciplinarité, problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités", OCDE, 1972, Paris.
(29) V. Weisskopf: "The significance of science", Science, vol.176, p. 138, 1972.
(30) J. Sevin: "La programmation économique et financière de la recherche et du développement", Journées franco-québécoises, 1-2 novembre 1973, texte polycopié.
(31) "Les principes de la politique scientifique du Québec: Politique + Science = Développement", Comité des politiques scientifiques du Québec, Ministère de l'Education, 1971, Québec.
(32) C. Limoges: "La sociopolitique des sciences", Opération sciences fondamentales, Dossier de sous-secteur, Les domaines connexes, Ministère de l'Education, 1975, Québec.
(33) C. Freeman: "Economics of Research and Development", chap. 7 de réf. (22)
(34) C.A. Tisdell: "Science and Technology policy: Priorities of Governments",Chapman and Hall, 1981, Londres et New York.

(35) Canadian Research, vol. 16, no 1, février 1983, Maclean Hunter, Toronto.
(36) "Le virage technologique: bâtir le Québec - Phase 2. Programme d'action économique 1982-1986", Gouvernement du Québec, 1982, Québec.
(37) B. Delapalme et al.: "Changement technique et politique économique: la science et la technologie dans le nouveau contexte économique et social", OCDE, 1980, Paris.
(38) "Objectifs généraux de l'enseignement supérieur et grandes orientations des établissements", Conseil des universités, cahiers I, II et III, 1972-1973, Québec.
(39) R. Hurtubise et al.: "L'université québecoise du proche avenir", Hurtubise HMH éd., 1973, Montréal.
(40) "Rapport du président, 1978-79" Conseil de recherche en science naturelle et en génie, 1979, Ottawa, pp. 15 et 16.
(41) D.K. Price:"Money and influence: the links of science to public policy", Daedalus 103, été 1974, p. 97.
(42) "La politique scientifique et technologique pour les années 1980", ODCE, 1981, Paris.
(43) "Un projet collectif: énoncé d'orientations et plan d'action pour la mise en oeuvre d'une politique québécoise de la recherche scientifique", Gouvernement du Québec, 1980, Québec.